



TUGAS AKHIR - TL141584

**PENGARUH HEAT INPUT DAN PENAMBAHAN
TEMPERING PADA PENGELASAN BAJA A516
GRADE 55 DENGAN METODE SMAW
TERHADAP TERBENTUKNYA ASIKULAR
FERIT SERTA DAMPAKNYA TERHADAP SIFAT
MEKANIK**

MUHAMMAD AKBAR
NRP 2712 100 135

Dosen Pembimbing
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TL141584

EFFECT OF HEAT INPUT AND TEMPERING ON A516 GRADE 55 STEEL SMAW WELDING TO ACICULAR FERRITE FORMATION AND ITS MECHANICAL PROPERTIES

MUHAMMAD AKBAR
NRP 2712 100 135

Advisor

Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Department of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Technology Industry
Sepuluh Nopember Institut of Technology
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

MUHAMMAD AKBAR

NRP. 2712 100 135

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.(Pembimbing I)
2. Wikan Jatimurti, ST., M.Sc.(Pembimbing II)



(halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH HEAT INPUT DAN PENAMBAHAN
TEMPERING PADA PENGELASAN BAJA A516 GRADE
55 DENGAN METODE SMAW TERHADAP
TERBENTUKNYA ASIKULAR FERIT SERTA
DAMPAKNYA TERHADAP SIFAT MEKANIK**

Nama : Muhammad Akbar
NRP : 2712100135
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Budi Agung Kurniawan, S.T.,M.Sc.
Co Pembimbing : Wikan Jatimurti, S.T.,M.Sc.

Abstrak

Asikular ferit ialah fase yang biasanya terbentuk pada pengelasan baja karbon rendah. Penelitian ini digunakan baja karbon rendah ASTM A516 grade 55 yang dalam industri untuk pressure vessel dan boiler. Dilakukan pengelasan dengan variasi arus dengan besar 110A, 125A, 140A, 155A dan 170A. Selanjutnya diberikan perlakuan tempering yang digunakan adalah tanpa perlakuan dan dengan perlakuan 600°C. Heat input tinggi membuat terbentuknya asikular ferit yang dominan pada HAZ. Tempering mengakibatkan terbentuknya ferit halus. Pada weld metal pembentukan asikular ferit lebih sedikit ketika dibandingkan HAZ dikarenakan unsur paduan pada weld metal yaitu Mn dan Ni. Kenaikan heat input menyebabkan kenaikan kekerasan pada benda kerja baik itu HAZ ataupun weld metal. Tempering dapat menurunkan kekerasan dari benda kerja sekitar 10-20 VHN. Heat input tinggi menyebabkan semakin tingginya tegangan impact. Penggunaan tempering dapat menaikkan tegangan impact. Pada pengujian bending seluruh parameter pengelasan masuk dalam kriteria hasil pengujian bending.. Pada semua parameter pengelasan kekuatan tarik spesimen relatif sama.

KATA KUNCI: *SMAW, Baja Karbon Rendah, Input Panas, Tempering, Asikular ferit*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

EFFECT OF HEAT INPUT AND TEMPERING ON A516 GRADE 55 STEEL SMAW WELDING TO ACICULAR FERRITE FORMATION AND ITS MECHANICAL PROPERTIES

Name : Muhammad Akbar
NRP : 2712100135
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Advisor : Budi Agung Kurniawan, S.T.,M.Sc.
Co Advisor : Wikan Jatimurti, S.T.,M.Sc.

Abstract

Accicular ferrite is most often phase formed in low carbon steel welding. In this study, variation of heat input and tempering was studied on A516 Grade 55 steel. Large heat input in this study used current parameter, which were 110A, 125A, 140A, 155A and 170A. While variations tempering heat treatment used is without heat treatment and with heat treatment at 600°C. Microstructure observation showed that accicular ferrite formed mostly on HAZ while weld metal showed less accicular ferrite compared to HAZ. Tempering did not affected the width of HAZ for entire current parameter. Tempering resulted formation of fine ferrite and increased the area of accicular ferrite. In the weld metal ferrite formation accicular less when compared HAZ due to the weld metal alloying elements are Mn and Ni that are autenit stabilizer. Hardness test result showed that accicular ferrite had higher value compared to ferrite, either at weld metal and HAZ. Tempering made the hardness values decreased. This caused by the increasing at accicular and ferrite grained size. Increasing current or can increased the impact strength. Tempering can increas the impact strength.. Bending test showed acceptable result due to criteria of elding samples.. The entire welding parameters resulted similar tensile strength specimens.

KEY WORDS : SMAW, Low carbon steel, Heat Input, Accicular ferrite

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “ PENGARUH HEAT INPUT DAN PENAMBAHAN TEMPERING PADA PENGELASAN BAJA KARBON RENDAH DENGAN METODE SMAW TERHADAP TERBENTUKNYA ASIKULAR FERIT SERTA DAMPAKNYA TERHADAP SIFAT MEKANIK ”.

Laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penyusunan laporan ini dapat berjalan dengan lancar tidak lain atas bantuan, dukungan serta doa dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dari awal pelaksanaan tugas akhir, penentuan topik laporan hingga selesainya penyusunan laporan tugas akhir ini, diantaranya :

1. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
2. Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc., selaku pembimbing I tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini
3. Bapak Wikan Jatimurti, ST., M.Sc selaku pembimbing II tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini
4. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc., Eng., selaku kepala prodi S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
5. Keluarga saya, ayah dan bunda, serta kakak yang selalu mendoakan dan memberi motivasi untuk saya.

6. Serta seluruh pihak yang telah membantu baik teknis maupun non teknis yang tidak dapat disebutkan namanya satu-persatu oleh penulis

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan maupun penyusunan laporan ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Demikian penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Baja karbon.....	5
2.2 Pengelasan.....	7
2.3 Asikular Ferit.....	15
2.4 Tempering.....	19
2.5 Hasil Lasan.....	21
2.6 Penelitian Terdahulu.....	23
BAB III METODOLOGI.....	29
3.1 Diagram alir penelitian.....	29
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian.....	30
3.2.1 Bahan Penelitian.....	30
3.2.2 Peralatan Penelitian.....	31
3.3 Variabel Penelitian.....	31
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	32
3.4.1 Persiapan Bahan.....	32
3.4.2 Pengelasan.....	32
3.4.3 Liquid Penetrant Test.....	34
3.4.4 Proses Perlakuan Panas tempering.....	36
3.4.6 Pengujian.....	36
3.5 Rancangan Penelitian.....	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47

4.1 Hasil foto makro spesimen.....	47
4.2 Hasil Pengujian metalografi	52
4.2.1 Metallografi HAZ.....	53
4.2.2 Metallografi Weld Metal	61
4.3 Hasil Uji Hardness.....	67
4.3.1 Hasil Uji Mikro Hardness.....	67
4.3.2 Hasil Uji Makro Hardness	69
4.4 Hasil uji impact	74
4.5 Hasil Uji Bending.....	76
4.6 Hasil Uji Tensile.....	78
4.7 Pembahasan	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	89
5.1 Kesimpulan.....	89
5.2 Saran.....	89
DAFTAR PUSTAKA.....	xix
LAMPIRAN	xxiii
RIWAYAT PENULIS.....	xxv

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Mikro Baja Karbon rendah (0,2% karbon), Etsa Nital 2%, Perbesaran 100X	6
Gambar 2.2 Siklus termal las pada beberapa temperatur las.....	8
Gambar 2.3 Las Busur dengan Elektroda	9
Gambar 2.4 Pemindahan Logam Cair.....	10
Gambar 2.5 Distribusi panas pada SMAW dan kerja pada setiap tipe arus pengelasan	13
Gambar 2.6 Ilustrasi skematik kurva pendinginan baja lasan dan hypothetical continuous cooling transformation.....	16
Gambar 2.7 Tipikal asikular ferit dalam baja karbon rendah...	17
Gambar 2.8 Perbandingan antara mikrostruktur ferit (a) dan asikular ferit (b).....	18
Gambar 2.9 Hasil Strukturmikro Sample A.1 yaitu accicular ferit (putih tajam) dan perlit (hitam): (a) Struktur Mikro Base Metal 500X (b) Struktur Mikro Daerah Pengaruh Panas (HAZ) 500X (c) Struktur Mikro Weld Metal 500X	22
Gambar 2.10 Gambar tiga dimensi dari asikular ferit pada spesimen yang ditemper dengan temperatur 650°C dan waktu holding 2 jam	24
Gambar 2.11 Distribusi ukuran length (a), lebar (b) dan ketebalan (c) butir asikular ferit.....	25
Gambar 2.12 Efek dari isothermal holding temperatur ditunjukkan dengan kurva dan mikrostruktur dengan temperatur holding 500°C, 550 °C dan 600 °C.....	27
Gambar 2.13 Kurva transformasi Asikular Ferit selama Isothermal holding treatment	28
Gambar 3.1 Diagram Alir	29
Gambar 3.2 Pembentukan Bavel.....	32
Gambar 3.3 Diagram TTT untuk baja karbon rendah hypoeutectoid (0.2% karbon).....	34
Gambar 3.4 Liquid Penetrant.....	35
Gambar 3.5 Developer	35
Gambar 3.6 Liquid Penetrant Test	36

Gambar 3.7 Mikroskop Optik Olympus BX51M-RF	37
Gambar 3.8 HT-9501 Computer Servo Hydraulic Universal Testing Machine.....	38
Gambar 3.9 Spesimen Uji Tarik	38
Gambar 3.10 Peralatan Uji Hardness HBRV	40
Gambar 3.11 Posisi Pengujian Vickers Hardness Test	40
Gambar 3.12 Alat uji kekerasan wolpert wilson micro.....	41
Gambar 3.13 Alat mesin uji Charpy Stuttgart.....	42
Gambar 3.14 Spesimen uji impact	43
Gambar 3.15 Alat mesin uji tarik MFL universal	43
Gambar 3.16 Face Bend pada transversal Bending	44
Gambar 3.17 Root Bend pada transversal Bending	45
Gambar 3.18 Side Bend pada transversal Bending	45
Gambar 4.1 Hasil foto makro sampel parameter 110A tanpa perlakuan.....	47
Gambar 4.2 Hasil foto makro sampel Parameter 125A tanpa perlakuan.....	47
Gambar 4.3 Hasil foto makro sampel Parameter 140A tanpa perlakuan.....	48
Gambar 4.4 Hasil foto makro sampel parameter 155A tanpa perlakuan.....	48
Gambar 4.5 Hasil foto makro sampel parameter 170A tanpa perlakuan.....	48
Gambar 4.6 Hasil foto makro sampel parameter 110A dengan perlakuan.....	49
Gambar 4.7 Hasil foto makro sampel parameter 125A dengan perlakuan.....	49
Gambar 4.8 Hasil foto makro sampel parameter 140A dengan perlakuan.....	49
Gambar 4.9 Hasil foto makro sampel parameter 155A dengan perlakuan.....	50
Gambar 4.10 Hasil foto makro sampel parameter 170A dengan perlakuan.....	50
Gambar 4.11 Hasil foto mikro base metal dengan perbesaran 500x tanpa perlakuan	52

Gambar 4.12 Hasil foto mikro base metal setelah tempering dengan perbesaran 500x.....	53
Gambar 4.13 Hasil pengamatan mikrostruktur HAZ pada spesimen parameter 110A tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x	54
Gambar 4.14 Hasil pengamatan mikrostruktur HAZ pada spesimen 125A tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x.....	54
Gambar 4.15 Hasil pengamatan mikrostruktur HAZ pada spesimen parameter 140A tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x	55
Gambar 4.16 Hasil pengamatan mikrostruktur HAZ pada spesimen 155A tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x.....	55
Gambar 4.17 Hasil pengamatan mikrostruktur HAZ pada spesimen 170A tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x.....	56
Gambar 4.18 Hasil Pengamatan mikrostruktur HAZ pada spesimen 110A perlakuan dengan perbesaran 500x	57
Gambar 4.19 Hasil Pengamatan mikrostruktur HAZ pada spesimen 125A perlakuan dengan perbesaran 500x	57
Gambar 4.20 Hasil Pengamatan mikrostruktur HAZ pada spesimen 140A perlakuan dengan perbesaran 500x	58
Gambar 4.21 Hasil Pengamatan mikrostruktur HAZ pada spesimen 155A perlakuan dengan perbesaran 500x	58
Gambar 4.22 Hasil Pengamatan mikrostruktur HAZ pada Spesimen 170A perlakuan dengan perbesaran 500x.....	59
Gambar 4.23 Hasil Pengamatan mikrostruktur Weld Metal pada spesimen 110A tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x.....	61
Gambar 4.24 Hasil Pengamatan mikrostruktur Weld Metal pada spesimen 125A tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x.....	61
Gambar 4.25 Hasil Pengamatan mikrostruktur Weld Metal pada spesimen 140 tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x.....	62
Gambar 4.26 Hasil Pengamatan mikrostruktur Weld Metal pada spesimen 155A tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x.....	62
Gambar 4.27 Hasil Pengamatan mikrostruktur Weld Metal pada spesimen 170A tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x.....	63

Gambar 4.28 Hasil Pengamatan mikrostruktur weld metal pada spesimen 110A dengan perlakuan dengan perbesaran 500x....	64
Gambar 4.29 Hasil Pengamatan mikrostruktur weld metal pada spesimen 125A dengan perlakuan dengan perbesaran 500x....	64
Gambar 4.30 Hasil Pengamatan mikrostruktur weld metal pada spesimen 140A dengan perlakuan dengan perbesaran 500x....	65
Gambar 4.31 Hasil Pengamatan mikrostruktur weld metal pada spesimen 155A dengan perlakuan dengan perbesaran 500x....	65
Gambar 4.32 Hasil Pengamatan mikrostruktur weld metal pada spesimen 170A dengan perlakuan dengan perbesaran 500x....	66
Gambar 4.33 Grafik perbandingan uji hardness parameter pengelasan tanpa perlakuan	70
Gambar 4.34 Grafik perbandingan uji hardness parameter pengelasan dengan perlakuan 600°C.....	71
Gambar 4.35 Grafik perbandingan uji hardness parameter pengelasan 110A.....	72
Gambar 4.36 Grafik perbandingan uji hardness parameter pengelasan 125A.....	72
Gambar 4.37 Grafik perbandingan uji hardness parameter pengelasan 140A.....	73
Gambar 4.38 Grafik perbandingan uji hardness parameter pengelasan 155A.....	73
Gambar 4.39 Grafik perbandingan uji hardness parameter pengelasan 170A.....	74
Gambar 4.40 Grafik perbandingan hasil uji impact.....	75
Gambar 4.41 Gambar hasil dari pengujian bending spesimen 110A tanpa perlakuan	78
Gambar 4.42 Gambar hasil dari pengujian bending spesimen 140 A tempering	78
Gambar 4.43 Grafik tegangan regangan parameter tanpa perlakuan.....	80
Gambar 4.44 Grafik tegangan regangan parameter dengan perlakuan.....	80
Gambar 4.45 Grafik Perbandingan Ultimate Tensile Strength-yield streghth tanpa perlakuan	81

Gambar 4.46 Grafik Perbandingan Ultimate Tensile Strength- yield strength perlakuan	81
--	----

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 kemampuan mekanik baja karbon rendah (0,2% karbon).....	7
Tabel 2.2 Parameter penelitian hot rolling.....	19
Tabel 2.3 Mekanikal properties spesimen baja pipeline	19
Tabel 3.1 Komposisi Kimia ASME SA 516 Grade 55.....	30
Tabel 3.2 Mekanikal Properties ASME SA 516 Grade 55	30
Tabel 3.3 Komposisi Kimia AWS E7018.....	30
Tabel 3.4 Mekanikal Properties AWS E7018.....	31
Tabel 3.5 Parameter Pengelasan	33
Tabel 3.6 Tabel Perancangan Eksperimen.....	46
Tabel 4.1 Perbandingan lebar HAZ untuk tiap parameter pengelasan.....	51
Tabel 4.2 Data hasil perhitungan grain size pada HAZ	60
Tabel 4. 3 Data hasil perhitungan grain size pada weld metal.	67
Tabel 4.4 Hasil pengujian mikro vickers hardness	68
Tabel 4.5 Data hasil pengujian makrohardness	69
Tabel 4.6 Data hasil pengujian impact.....	75
Tabel 4.7 Data Hasil pengujian Bending	76
Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Tarik.....	79

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelasan adalah salah satu proses penyambungan yang umum dalam bidang manufaktur. Konstruksi lasan untuk bangunan-bangunan, pipa-pipa, bejana bertekanan, otomotif, jembatan dan permesinan pada umumnya memerlukan sambungan las dengan kualifikasi tinggi. Baja ialah salah satu material yang digunakan dalam dunia industri dan untuk menyambung antar salah satu baja dengan baja yang lain sangat dibutuhkan teknologi pengelasan. Pengelasan itu sendiri terdiri dari banyak metode, pemilihan metode ini sendiri disesuaikan dengan bentuk material dan penggunaan dari benda kerja yang dilas.

Metode pengelasan yang dikenal lebih praktis, lebih mudah pengoperasiannya dan lebih efisien. Pada pengelasan SMAW banyak hal yang harus diperhatikan. Diketahui bahwa variasi yang terjadi pada morfologi mikrostruktur suatu material dapat dihasilkan dari penggunaan *single filler metal* yang menghasilkan perbedaan pada pengelasan dan kondisi thermal material tersebut. Hal ini berakibat pada kekuatan dan ketangguhan dari hasil lasan, maka dari itu pengawasan terhadap parameter pengelasan sangat penting agar tidak terjadi penurunan nilai kekuatan dan ketangguhan pada suatu material. Beberapa parameter yang dapat diperhatikan untuk mengontrol adanya perubahan baik itu pada mikrostrukturnya ataupun kemampuan mekaniknya ialah heat input pada saat proses pengelasan, pre weld heat treatment serta post weld heat treatment pada baja las-lasan. Besar kecilnya heat input dapat mempengaruhi perubahan mikrostruktur pada HAZ. Dimana perubahan pada mikrostruktur HAZ ini dapat merubah sifat mekanik dari HAZ itu sendiri. Baja karbon rendah ialah salah satu material yang sering digunakan dalam dunia industri dan sangat sering berkaitan dengan dunia pengelasan. Sangat



dibutuhkan kekuatan dan ketangguhan yang tinggi pada bagian las-lasan demi menghindari kegagalan pada saat pengoperasian baja tersebut. Fasa yang biasa terbentuk pada pengelasan baja karbon rendah ini ialah asikular ferit.

Asikular ferit ialah salah satu fasa mikro struktur yang biasanya terbentuk pada pengelasan baja karbon rendah. Asikular ferit merupakan struktur mikro yang terbentuk dari fasa austenit yang mengalami pendinginan cepat sehingga mengakibatkan transformasi pembentukan ferit yang belum sempurna dengan membentuk butir yang tajam-tajam. Asikular ferit itu sendiri berpengaruh pada kemampuan mekanik yaitu meningkatkan kekuatan dan ketangguhan dari baja. Hal ini dikarenakan asikular ferit merupakan struktur interlock yang mengapit antara fasa ferit kecil dan besar. Pada penelitian ini dicari parameter apa saja yang memperbanyak asikular ferit pada pengelasan baja karbon rendah dan pengaruhnya terhadap kemampuan mekanik.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana pengaruh variasi heat input terhadap terbentuknya asikular ferit
2. Bagaimana pengaruh jumlah asikular ferit terhadap kekerasan, kekuatan dan ketangguhan pada baja karbon rendah.
3. Bagaimana pengaruh tempering terhadap struktur mikro asikular ferit.
4. Bagaimana pengaruh asikular ferit yang diberi tempering terhadap kekerasan, kekuatan dan ketangguhan pada baja karbon rendah.



1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Pengotor yang masuk selama pengelasan diabaikan
2. Pengaruh kondisi lingkungan diabaikan
3. Kecepatan Pengelasan dianggap konstan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Menganalisa pengaruh variasi heat input terhadap terbentuknya asikular ferit.
2. Menganalisa pengaruh jumlah asikular ferit terhadap kekerasan, kekuatan, ketangguhan serta keuletan pada baja karbon rendah.
3. Menganalisa pengaruh tempering terhadap strukturmikro asikular ferit.
4. Menganalisa pengaruh asikular ferit yang diberi tempering terhadap kekerasan, kekuatan, ketangguhan serta keuletan pada baja karbon rendah

1.5 Manfaat Penelitian

Pada penelitian kali ini memiliki manfaat yaitu untuk memberikan informasi mengenai pengaruh variasi heat input dan tempering terhadap pengelasan baja karbon rendah.

.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja karbon

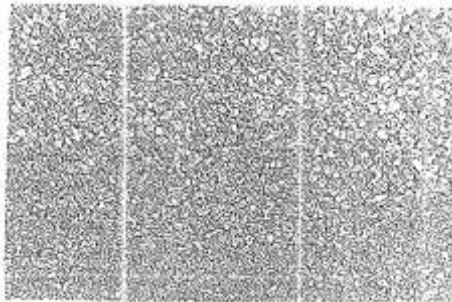
Baja pada dasarnya adalah paduan besi-karbon. Selain terdiri dari besi dan karbon baja biasanya juga mengandung sejumlah unsur lain. Sebagian berasal pengotoran pada bijih besi, yang biasanya kadarnya ditekan serendah mungkin, sebagian lagi unsur yang digunakan pada proses pembuatan besi/baja. Disamping itu seringkali juga sejumlah unsur paduan sengaja ditambahkan ke dalam baja untuk memperoleh suatu sifat tertentu. Menurut komposisi kimianya baja dapat dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu baja karbon dan baja paduan. Baja karbon bukan hanya mengandung besi dan karbon, tetapi juga mengandung sejumlah unsur lain dalam batas-batas tertentu yang tidak banyak berpengaruh terhadap sifatnya.

Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon. Oleh karena itu, baja jenis ini dikelompokkan kedalam tiga kelompok besar berdasarkan kadar karbon yang terkandung di dalamnya. Baja Karbon Rendah (Low Carbon Steel/Mild steel), kadar karbon sampai 0.30%. Strukturnya terdiri atas ferrit dan sedikit perlit, sehingga baja ini kekuatannya relatif rendah, lunak tetapi keuletannya tinggi. Baja ini tidak dapat dikeraskan, kecuali dengan pengerasan permukaan. Baja Karbon Menengah (Medium Carbon Steel), kadar karbon 0.30-0.70% masih terdiri atas ferrit dan perlit juga, dengan perlit cukup banyak, sehingga baja ini lebih kuat dan keras, serta dapat dikeraskan tetapi getas. Baja Karbon Tinggi (High carbon steel), kadar karbon lebih dari 0.70% lebih kuat dan lebih keras lagi, tetapi keuletan dan ketangguhannya rendah. Pada baja karbon apabila semakin besar kandungan karbonnya maka material semakin kuat tetapi keuletannya menurun.



2.1.1 Baja Karbon rendah

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari 0,3% C. Baja karbon rendah ini memiliki ketangguhan dan keuletan tinggi akan tetapi memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah. Pada umumnya baja jenis ini digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, bodi mobil, dan lain-lainya. Baja Karbon rendah terdiri atas fasa ferit (α) dan perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$). Baja jenis ini sangat reaktif dan mudah sekali untuk berubah kembali ke bentuk besi oksida (berkarat) ketika terkontaminasi air, oksigen dan ion. Baja karbon rendah mempunyai sifat mampu las yang dipengaruhi oleh kekuatan tarik dan kepekaan terhadap retak las. Struktur mikro baja karbon rendah ditampilkan dalam gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Struktur Mikro Baja Karbon rendah (0,2% karbon), Etsa Nital 2%, Perbesaran 100X (Sumber : Edwin, 2012)

Dari hasil gambar struktur mikro baja karbon rendah didapatkan fasa ferit (putih) yang tersebar di seluruh permukaan baja dengan kandungan perlit (hitam). Dibawah ini dapat dilihat kemampuan mekanik dari baja karbon rendah dengan 0,2% karbon.



Tabel 2.1 kemampuan mekanik baja karbon rendah (0,2% karbon)

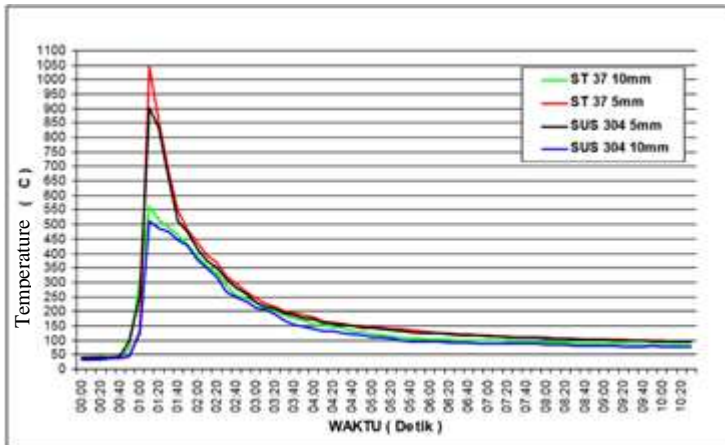
properties	Nilai
Tensile strength	510/650 MPa
Yield stress	335 Mpa

2.2 Pengelasan

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas, maka logam yang disekitar daerah las mengalami perubahan struktur metalurgi, deformasi dan tegangan termal. Untuk mengurangi pengaruh tersebut, maka dalam proses pengelasan perlu diperhatikan metode dan prosedur pengelasan yang benar dan tepat, termasuk pemilihan bahan pengisi (*filler*) yang digunakan.

Luasnya penggunaan proses penyambungan dengan pengelasan disebabkan oleh biaya murah, pelaksanaan relatif lebih cepat, dan mudah serta bentuk konstruksi lebih variatif. Namun demikian disamping keuntungan, sambungan las juga memiliki kelemahan, diantaranya adalah timbulnya lonjakan tegangan yang besar disebabkan oleh perubahan struktur mikro pada daerah sekitar lasan yang menyebabkan turunnya kekuatan bahan dan akibat adanya tegangan sisa, serta adanya retak akibat proses pengelasan.

Menurut AWS volume 1 (2001) siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi didaerah lasan. Lamanya pendinginan dalam proses pengelasan sangat mempengaruhi hasil akhir dari pengelasan tersebut. Untuk melihat fenomena siklus thermal pada pengelasan dijelaskan pada gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 Siklus termal las pada beberapa temperatur las
(sumber: Sugiarto, 2011)

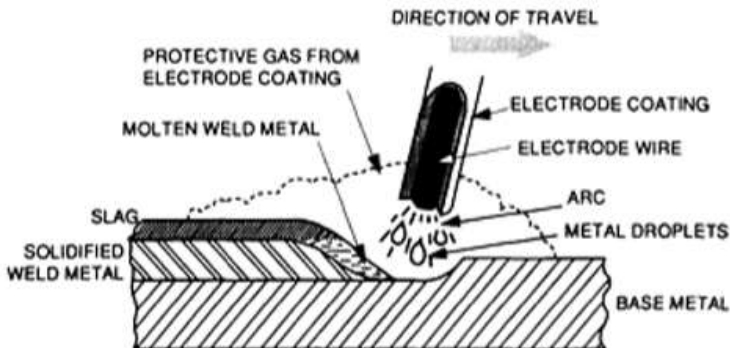
Pengelasan terdiri dari 3 jenis besar dan dari 3 jenis pengelasan tersebut terdiri dari beberapa jenis pengelasan lagi seperti berikut:

1. Gas welding
 - Oxyacetylene welding (OAW)
2. Arc welding
 - Shielded metal arc welding (SMAW)
 - Gas-tungsten arc welding (GTAW)
 - Plasma arc welding (PAW)
 - Gas-metal arc welding (GMAW)
 - Flux-cored arc welding (FCAW)
 - Submerged arc welding (SAW)
 - Electroslag welding (ESW)
3. High-energy beam welding
 - Electron beam welding (EBW)
 - Laser beam welding (LBW)

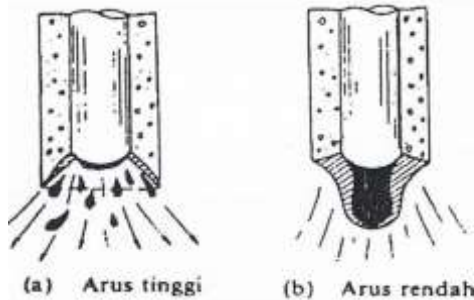


2.2.1 Pengelasan SMAW

Las elektroda terbungkus adalah cara pengelasan yang banyak digunakan pada masa ini. Dalam pengelasan ini digunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan fluks. Busur listrik terbentuk diantara logam induk dan ujung elektroda. Karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku secara bersamaan. Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir – butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus seperti terlihat pada gambar 2.4 (a) sebaliknya bila arusnya kecil maka butirannya menjadi besar seperti gambar 2.4 (b)



Gambar 2.3 Las Busur dengan Elektroda (Sumber : ASM Metal Handbook)



Gambar 2.4 Pemindahan Logam Cair

(Sumber : wirgosumamoto,1996)

Pola pemindahan logam cair seperti yang diterangkan di atas sangat mempengaruhi sifat mampu las logam. Secara umum dapat dikatakan bahwa logam mempunyai sifat mampu las tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Sedangkan pola pemindahan cairan di pengaruhi oleh besar kecilnya arus seperti di terangkan di atas dan juga oleh komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Selama proses pengelasan bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda mencair dan membentuk terak yang kemudian menutupi logam cair yang terkumpul di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi. Beberapa fluks bahannya tidak dapat terbakar, tetapi berubah menjadi gas yang juga menjadi pelindung logam cair terhadap oksidasi dan memantapkan busur.

Kualitas lasan, dan penetrasi pada hasil lasan dipengaruhi dari berbagai macam parameter pengelasan dan jenis sambungan. Parameter Pengelasan diantaranya sebagai berikut:

1. Arus / *Welding Current*
2. Tegangan / *Arc Voltage*
3. Kecepatan pengelasan / *Travel Speed*
4. Diameter Electrode
5. Polaritas

Dan semua parameter tersebut memberikan pengaruh pada hasil lasan diantaranya sebagai berikut :

1. Laju Deposit / *Deposit rate*



2. Bentuk Lasan
3. Kedalaman Penetrasi
4. Laju Pendinginan
5. Distorsi pada hasil lasan.

Oleh karena itu, pemahaman yang tepat mengenai akibat dari parameter tersebut adalah penting diketahui untuk menghasilkan hasil lasan yang baik dengan laju deposit yang memadai dan mengurangi kemungkinan terjadinya distorsi. Penyebab umum dari parameter tersebut dijelaskan dibawah ini.

2.2.2 Parameter Pengelasan

Pada proses pengelasan merupakan salah satu cara yang dilakukan dalam upaya mendapatkan suatu penyambungan logam dengan menggunakan energi panas. Dengan adanya energi panas maka logam pada lokasi penyambungan meleleh atau mencair, terjadi interaksi antara logam yang disambungkan dengan selanjutnya logam yang tersambung.

Proses pelelehan logam pada daerah lasan dan elektroda dengan sistem pendinginannya menciptakan proses perlakuan panas yang menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro disekitar daerah lasan tersebut. Secara umum terdapat tiga daerah pada daerah sambungan las, yaitu daerah lebur (*fusion zone*), daerah terpengaruh panas (*heat affected zone*), dan daerah tak sampai pengaruh panas atau daerah logam induk (*base metal zone*).

Kualitas pada hasil pengelasan dan laju deposit kedua nya dipengaruhi oleh variasi parameter yang digunakan. Berikut adalah beberapa parameter pengelasan yang mempengaruhi hasil pengelasan itu sendiri, diantaranya arus, tegangan, kecepatan pengelasan, kecepatan lelehan elektroda, dan diameter elektroda. Dan dari masing – masing parameter diatas memiliki pengaruh pada hasil las, diantaranya pengaruh pada laju deposit, bentuk lasan, kedalaman penetrasi, laju pendinginan dan distorsi induksi las. Karena pemahaman yang sesuai akibat dari parameter pengelasan ini sangat penting maka hasil pengelasan dengan laju



deposit metal yang sesuai pada pengelasan, dan minimum terjadinya distorsi sangat diharapkan.

Menurut Agaarwal (1985) pada proses pengelasan SMAW, parameter yang berpengaruh pada kualitas hasil lasan adalah arus dan waktu pengelasan atau kecepatan pengelasan. Besar arus dan waktu pengelasan menentukan *heat input* pada daerah lasan dengan mengikuti rumus :

$$HI = \frac{I \times V}{T.s} \dots\dots\dots(1)$$

$$HI = \frac{110A \times 22V}{0,67mm/sec}$$

Dimana :

I = Arus (A)

V = Voltase (V)

T.s = Travel Speed (kecepatan pengelasan) (mm/sec)

HI = Heat Input (KJ/mm)

(sumber : ASM Metal Handbook)

Pengaruh dari parameter tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

a. Arus

Arus las berpengaruh pada proses pelelehan dan penyambungan logam. Semakin besar arus yang diberikan maka semakin cepat proses pelelehan dan penyambungan yang terjadi. Tetapi hal ini dapat mengakibatkan semakin besarnya HAZ, persentase sambungan las dan perubahan struktur mikro pada daerah sambungan. Sebaliknya bila arus kecil. Maka proses pelelehan dan penyambungan tidak terjadi.

b. Travel Speed

Semakin lama waktu pengelasan berarti semakin besar pula panas yang ditimbulkan. Hal ini mengakibatkan daerah pelelehan dan penyambungan logam semakin melebar. Sedangkan bila waktu yang dipergunakan terlalu singkat maka panas yang ditimbulkan sedikit, sehingga belum terjadi pelelehan dan tidak terjadi penyambungan. Untuk mendapatkan



kualitas produk sesuai persyaratan maka perlu dicari kombinasi optimum dari kedua parameter diatas.

c. Polaritas

Seperti telah diterangkan sebelumnya bahwa pengelasan busur listrik dengan elektroda terbungkus dapat menggunakan polaritas lurus dan polaritas balik. Pemilihan polaritas ini tergantung pada bahan pembungkus elektroda, konduksi termal dari bahan induk, kapasitas panas dari sambungan dan lain sebagainya.

Pengelasan ini dapat dilakukan baik dengan AC maupun DC. Penentuan antara AC dengan DC didasari oleh material apa yang dilas. Ada 3 tipe dari dari arus pengelasan, atau polarisasi, yang bisa diterapkan pada pengelasan SMAW. Setiap tipe arus listrik memiliki keistimewaan tersendiri yang membuatnya memiliki spesifikasi yang lebih diperlukan. Perbedaan utama pada arus tersebut adalah pada distribusi panas dan derajat busur. Seperti pada gambar di bawah ini



Gambar 2.5 Distribusi panas pada SMAW dan kerja pada setiap tipe arus pengelasan (Sumber: wirgosumamoto,1996)

Berdasarkan gambar di atas, didapatkan 3 tipe, yaitu DCRP, DCSP, serta AC. Berikut penjelasan dari ketiganya:

- *Direct Current Electro Negative (DCEN)*
biasa disebut dengan *Direct-Current Straight Polarity (DCSP)*, benda kerja yang dilas dihubungkan dengan kutub positif (+) sementara elektrodanya disambungkan pada kutub negatif (-) pada mesin las DC. Polaritas DCEN menghasilkan pencarian material yang lebih banyak



dibandingkan elektrodanya. Sehingga memiliki hasil pengelasan yang dalam.

- *Direct Current Electro Positive (DCEP)*
biasa disebut dengan (DCRP), Benda kerja yang dilakukan pengelasan dihubungkan dengan kutub negatif (-) dan elektrodanya dihubungkan pada kutub positif (+) pada mesin las DC. Polaritas DCEP menghasilkan pencairan elektroda yang lebih banyak daripada materialnya. Sehingga dapat menghasilkan hasil lasan yang dangkal.

- *Alternating Current (AC)*
AC ini merupakan arus listrik yang besar dan arahnya arus dapat berubah secara bolak-balik. AC ini merupakan setengah DCEP dan setengah DCEN. Bentuk gelombang dari arus ini berupa gelombang sinusoida. Hal ini disebabkan karena arus ini memungkinkan terjadinya perpindahan energi yang paling efisien.

Sumber: German Development Service, 2012

Sifat busur pada umumnya lebih stabil pada arus searah dari pada arus bolak balik, terutama pada pengelasan dengan arus yang rendah. Tetapi untuk pengelasan sambungan pendek lebih baik menggunakan arus bolak balik karena pada arus searah sering terjadi ledakan busur pada akhir dari pengelasan

Pada saat proses pembuatan *structures* dan *pressurised* dengan menggunakan pengelasan, ada hal-hal yang harus diperhatikan agar mendapatkan sifat material yang sesuai dengan aplikasinya. Untuk menentukan dan mengontrol pengelasan digunakan WPS yang berisi instruksi yang harus dilakukan dan diperhatikan saat proses pengelasan agar material yang dilas memiliki sifat yang diinginkan.

Pembuktian sifat mekanik pada sambungan pengelasan merupakan tujuan utama dari *qualification test*, tetapi menunjukkan cacat lasan yang dihasilkan juga menjadi hal yang terpenting. Hasil lasan yang dibuat layaknya kondisi pengelasan

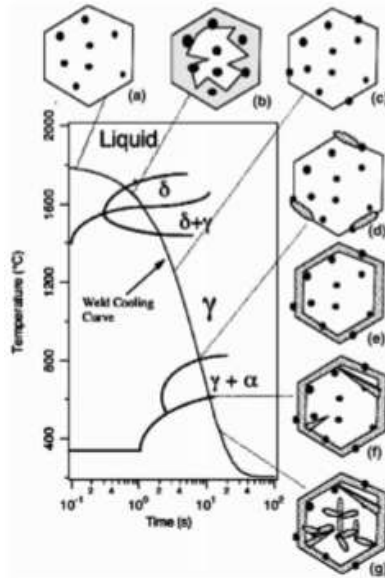


yang sama dengan pada saat uji coba pengelasan harus memiliki sifat yang sama dan sesuai dengan yang diinginkan.

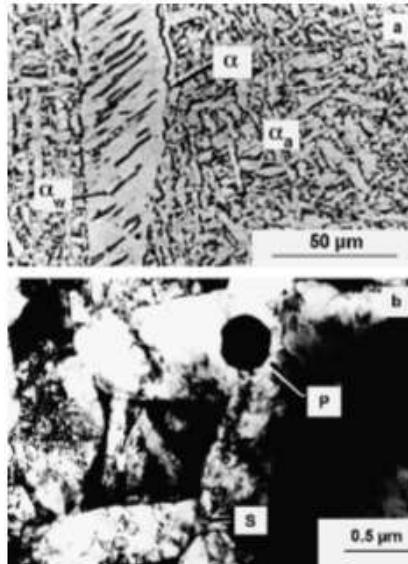
2.3 Asikular Ferit

Menurut Fu-Ren Xiao (2006) pada Akhir 1970an ditemukan bahwa mikrostruktur asikular ferit optimal dalam menaikkan kekuatan dan ketangguhan. Setelah itu, dilakukan dengan intensif untuk penelitian asikular ferit menyakup penambahan oksida, hardenability weld metal dan kondisi pendinginan. Pada gambar dibawah memperlihatkan bahwa perubahan fasa pada temperatur tinggi mempengaruhi terbentuknya asikular ferit secara keseluruhan. Struktur mikro logam las dipengaruhi oleh peleburan, pelarutan gas, pemadatan dan transformasi solid-state. Karena daerah lasan dipanaskan dengan temperatur hingga 2500K, baja cair terlarut dengan oksigen. Luasnya persebaran pelarutan oksigen tergantung pada sifat termodinamika logam, gas dan fase slag. Pada asikular ferit ini sendiri didapatkan kekerasan yang jauh lebih tinggi dibandingkan ferit biasa yaitu mencapai 200 VHN.

Dalam kisaran temperatur 2000-1700 °C, oksigen terlarut dan deoxidizing unsur dalam baja cair bereaksi membentuk inklusi oksida kompleks di kisaran 0,1-1 µm berbagai ukuran. Pada kisaran temperature 1700-1600 C, pemadatan δ-ferit (fase body central kubik) dimulai dan menyelubungi inklusi oksida ini; dan d-ferit ini bertransformasi menjadi austenit (fase γ-face central kubik). Dalam rentang temperatur 1600-800 C, butir austenit dapat terbentuk. Tipikal dari baja lasan yang mengandung asikular ferit dapat dilihat pada gambar 2.6. Morfologi ini biasanya disebut “basket-weave structure”. Pada gambar tersebut juga terlihat bahwa asikular ferit berikatan dengan morfologi lain yaitu widmanstatten ferit dan allotriomorphic ferrit. Asikular ferit memiliki aspek ratio 0.1-0.2 dan random cross seksional area.



Gambar 2.6 Ilustrasi skematik kurva pendinginan baja lasan dan hypothetical continuous cooling transformation (Sumber: Xiao, 2006)

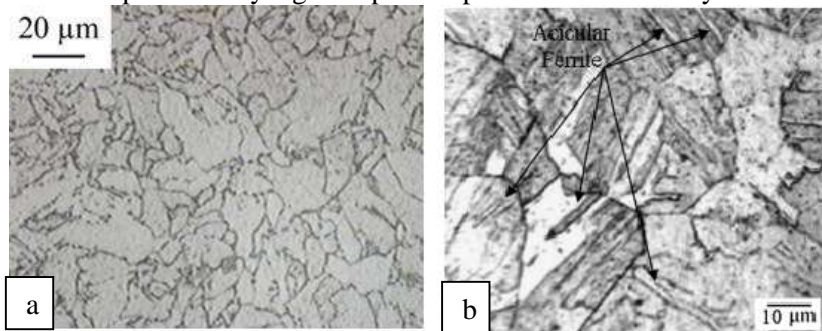


Gambar 2.7 Tipikal asikular ferit dalam baja karbon rendah
(Sumber: Wan,2010)

Penelitian Wan (2010) menyatakan struktur mikro asikular ferit dan untuk penyempurnaan pembentukan butir kasar dari daerah HAZ baja strength low-alloy bainite telah dipelajari menggunakan teknik rekonstruksi tiga dimensi. Ukuran butir kristalografi dianalisis dengan menggunakan difraksi backscatter elektron. Hal itu terungkap bahwa struktur mikro di wilayah berbutir kasar HAZ didominasi bainit dan sebagian kecil asikular ferit. Asikular ferit sendiri memiliki morfologi berbentuk bilah dan piringan tajam yang seperti jarum. Tempering butir kasar wilayah HAZ menunjukkan bahwa asikular ferit lebih stabil daripada bainit dan menunjukkan bahwa asikular ferit terbentuk terlebih dahulu sebelum terbentuknya bainit. Gambar dibawah ini menunjukkan perbedaan antara mikrostruktur ferit dan asikular ferit. Gambar a menunjukkan mikrostruktur fasa ferit sedangkan pada gambar b menunjukkan mikrostruktur fasa asikular ferit yang berbentuk tajam menyerupai jarum. Terlihat



pada gambar tersebut bahwa antara ferit dan asikular ferit memiliki perbedaan yang cukup besar pada mikrostrukturnya.



Gambar 2.8 Perbandingan antara mikrostruktur ferit (a) dan asikular ferit (b) (Sumber: Wan,2010)

Suharno (2008) mengatakan bahwa heat input pada pengelasan mempengaruhi terbentuknya struktur mikro asikular ferit. Asikular ferit merupakan struktur mikro yang terbentuk dari fasa austenit yang mengalami pendinginan cepat sehingga mengakibatkan transformasi pembentukan ferit yang belum sempurna dengan membentuk butir yang tajam-tajam. Asikular ferit mengakibatkan nilai keuletan dan ketangguhan meningkat hal ini dikarenakan asikular ferit hanya merupakan struktur intrlock yang mengapit antara fasa ferit kecil dan besar. Sedangkan saat asikular ferit menurun maka nilai keuletan dan ketangguhan menurun.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Xiao (2006) didapatkan kemampuan mekanik asikular ferit pada baja pipeline yang diberi perlakuan panas. Dari penelitian yang dilakukan oleh xiao, perlakuan panas kepada spesimen baja pipeline yang tersebut dapat mempengaruhi jumlah asikular ferit yang tersebar pada spesimen. Tabel penelitian yang dilakukan oleh Xiao dapat dilihat pada tabel 2.2 sedangkan hasil kemampuan mekanik yang didapat bisa dilihat dari tabel 2.3. Dari kedua tabel terbut dapat dilihat bahwa semakin cepat cooling rate maka asikular ferrit



yang terbentuk semakin banyak dapat meningkatkan yield strength serta tensile strength baja.

Tabel 2.2 Parameter penelitian hot rolling
(Sumber: Xiao,2006)

no	Condition	Rolling during non-recrystallization		Cooling rate	T Finish cooling	T cooling (°C)
		T Begin rolling (°C)	T Finish Rolling (°C)			
21	Design	900	800	20	500	500
	Measured	895	800	18		
22	Design	900	750	20	540	500
	Measured	900	783	20		
23	Design	920	800	20	520	500
	Measured	922	804	17,8		
24	Design	900	750	20	509	500
	Measured	905	750	16,1		
25	Design	920	800	20	570	600
	Measured	920	799	22,5		
26	Design	900	750	20	575	600
	Measured	899	750	22,7		

Tabel 2.3 Mekanikal properties spesimen baja pipeline
(Sumber: Xiao,2006)

no	yield strength (MPa)	Tensile strength (Mpa)	Ys/UTS	Elongation
21	555	656	0,85	25
22	571	630	0,91	23
23	588	650	0,9	24
24	594	651	0,91	23
25	616	679	0,91	20
26	626	716	0,87	23

2.4 Tempering

Tempering merupakan salah satu proses heat treatment yang tujuan utamanya untuk menghilangkan tegangan sisa dan mengembalikan kemampuan mekanik pada baja. Material (terutama carbon steel) mengalami perubahan struktur karena



proses pemanasan dan pendinginan. Struktur yang tidak homogen inilah yang menyebabkan tegangan sisa pada material pasca pengelasan (welding). Dampak dari tegangan sisa ini material menjadi lebih keras tetapi ketangguhannya kecil. Ini tentu sifat yang tidak diharapkan. Oleh sebab itu, material harus dikembalikan ke sifat semula dengan cara pemanasan dengan suhu dan tempo waktu (holding time) tertentu.

Berdasarkan pada riset yang dilakukan oleh Arif (2006) mengenai Analisa hasil pengelasan pada baja AISI 1045 dengan variasi temperatur tempering. Dalam penelitian ini dilakukan beberapa variasi temperatur tempering, yaitu proses tempering 450°C dan 600°C. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa proses tempering mampu menurunkan tegangan sisa dan kekerasan maksimum pada hasil pengelasan.

Pada pengelasan, kontrol temperatur dari suatu lasan dapat mencegah terjadinya masalah yang terkait langsung dengan proses pengelasan atau dengan kata lain dapat mengurangi besarnya pengaruh pengelasan. Karena itu proses heat treatment pada pengelasan menjadi salah satu bagian yang perlu diperhatikan.

Salah satu proses tempering yang biasanya dilakukan adalah *stress - relief heat treatment*. Stress relief sangat penting untuk hasil lasan terutama untuk hasil lasan pada baja dengan kadar carbon ekivalen yang tinggi atau ketebalan yang besar. Pada proses stress relief, pemanasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan fasa logam hasil lasan, tetapi hanya menyebabkan rekristalisasi saja. Adapun tujuan dari tempering adalah :

- Mengurangi tegangan sisa yang disebabkan oleh proses pengelasan.
- Untuk meningkatkan ketahanan terhadap brittle fracture.
- Untuk meminimalisir potesial hidrogen masuk kedalam hasil lasan.

Pada baja karbon tinggi tempering dilakukan untuk menghilangkan residual stress yang menaikkan kekerasan dan



menurunkan sifat keuletan. Akibatnya, logam las memiliki kekerasan yang tinggi dan mempermudah terjadinya retak. Untuk baja karbon temperatur postheat dilakukan pada 600°C – 675°C dalam waktu satu jam setiap inci.

Dari hasil penelitian Olabi dkk (1996) terhadap baja karbon rendah (AISI 1020) diketahui bahwa proses tempering memiliki efek yang berarti dalam mengurangi tegangan sisa dan temperatur 650°C adalah temperatur yang efektif untuk mengurangi tegangan sisa. Waktu tahan yang lama dan pendinginan yang lebih lambat juga memberikan pengaruh yang besar dalam mengurangi tegangan sisa. Baja 1020 ini adalah baja yang baik untuk di las dalam segala kondisi, namun pemberian tempering dapat berfungsi dengan baik pada pengelasan menggunakan ampere yang sangat tinggi.

Selain itu, menurut Prasdiati (2006) bahwa proses tempering yang dilakukan dengan temperatur 650°C dapat merubah kekerasan maksimum hasil pengelasan baja karbon medium dengan memunculkan ferit halus pada struktur mikronya.

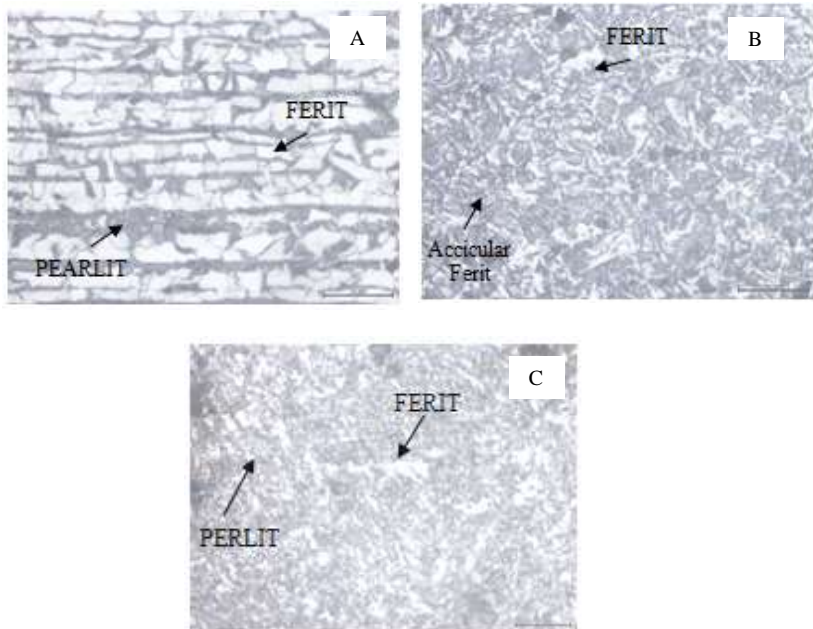
2.5 Hasil Lasan

Hasil dari pengelasan suatu baja yaitu terdiri dari 3 bagian yaitu base metal, weld metal dan HAZ (heat affected zone). Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas atau HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk tidak terpengaruhi (base metal) adalah bagian logam dasar dimana heat input dan temperatur pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las.



Besarnya luasan HAZ dipengaruhi oleh masukan panas yang dikenakan pada material. Semakin besar masukan panas, maka semakin besar pula luasan HAZ yang terbentuk. Hal ini dapat menurunkan sifat mekanik dari material. Penurunan sifat mekanik ini akibat dari laju pendinginan pada daerah HAZ yang relatif lebih cepat sehingga menyebabkan berubahnya struktur kristal HAZ menjadi lebih besar. Semakin besar struktur kristal maka material juga semakin getas karena hydrogen dapat masuk di celah-celah struktur kristal mengakibatkan mudah terjadi retak.

Struktur mikro diketahui dengan cara mengkorosikan spesimen secara terkontrol dengan larutan etsa nital 2%. Berikut ini dijelaskan Pengaruh Heat Input Terhadap Hasil Struktur Mikro HAZ. Gambar 2.10 Menunjukkan strukturmikro basemetal, HAZ dan weldmetal sample A.1



Gambar 2.9 Hasil Strukturmikro Sample A.1 yaitu accicular ferit (putih tajam) dan perlit (hitam): (a) Struktur Mikro Base



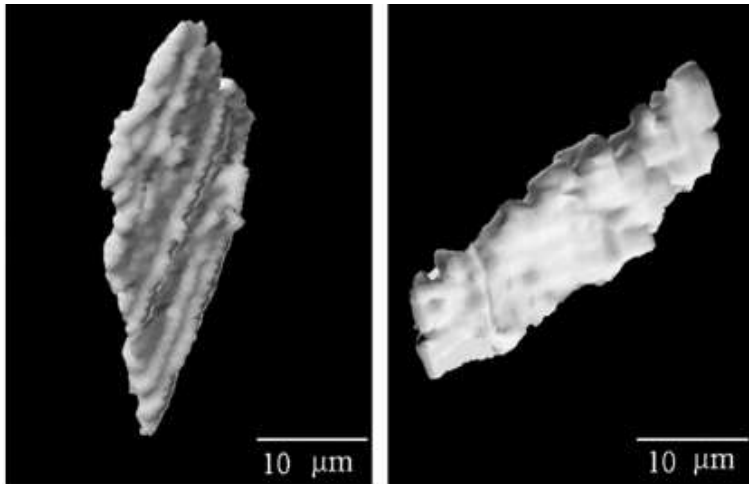
Metal 500X (b) Struktur Mikro Daerah Pengaruh Panas (HAZ)
500X (c) Struktur Mikro Weld Metal 500X
(sumber: Ismail, 2015)

Struktur mikro HAZ sample A.1 sebagaimana dijelaskan pada gambar 2.10 yang terbentuk adalah accicular ferit (putih tajam). Accicular ferit terbentuk dari transformasi fasa austenit yang berubah menjadi ferit namun kondisinya tidak sempurna pada pendinginan cepat. Hal ini menyebabkan bentuk struktur feritnya tajam yang disebut accicular ferit. Semakin besar heat input maka komposisi accicular ferit yang terbentuk semakin banyak. Hal ini disebabkan karena pendinginan cepat yang terjadi setelah pengelasan membuat fasa austenit tidak memiliki waktu lebih untuk bertransformasi menjadi ferit.

2.6 Penelitian Terdahulu

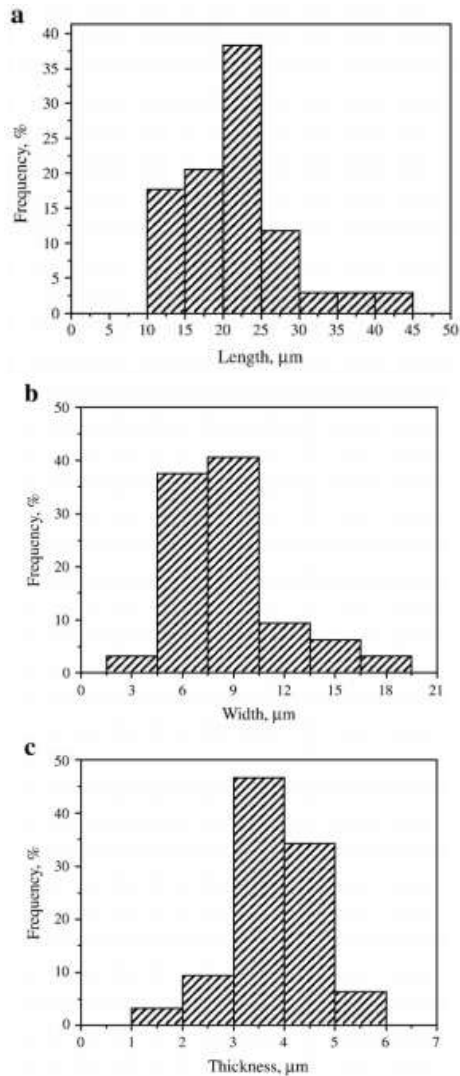
Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Susri (2014) dengan melakukan variasi arus pengelasan terhadap ketangguhan, kekerasan dan struktur mikro las pada pengelasan SMAW dengan elektroda E7016. Bahan pipa baja karbon rendah dengan diameter 2,5 inchi dan ketebalan 12 mm dilas dengan variasi arus 100A, 110A dan 120 A dengan menggunakan las SMAW DC polaritas terbalik dengan elektroda E7016 diameter 3,2 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketangguhan dampak tertinggi diperoleh pada arus 120 Ampere dengan nilai 1,6 Joule/mm². Hal ini karena masukan panas yang tinggi, sehingga struktur asikular ferrite yang terbentuk lebih banyak.

Wan (2010) meneliti bahwa struktur mikro asikular ferit dan untuk penyempurnaan pembentukan butir kasar dari daerah HAZ baja strength low-alloy bainite telah dipelajari menggunakan teknik rekonstruksi tiga dimensi. Gambar tiga dimensi dari butir asikular ferit yang terdapat dalam spesimen ditemper dengan temperatur 650°C dan di holding dalam waktu 2 jam dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.10 Gambar tiga dimensi dari asikular ferit pada spesimen yang ditemper dengan temperatur 650°C dan waktu holding 2 jam (sumber: wan, 2010)

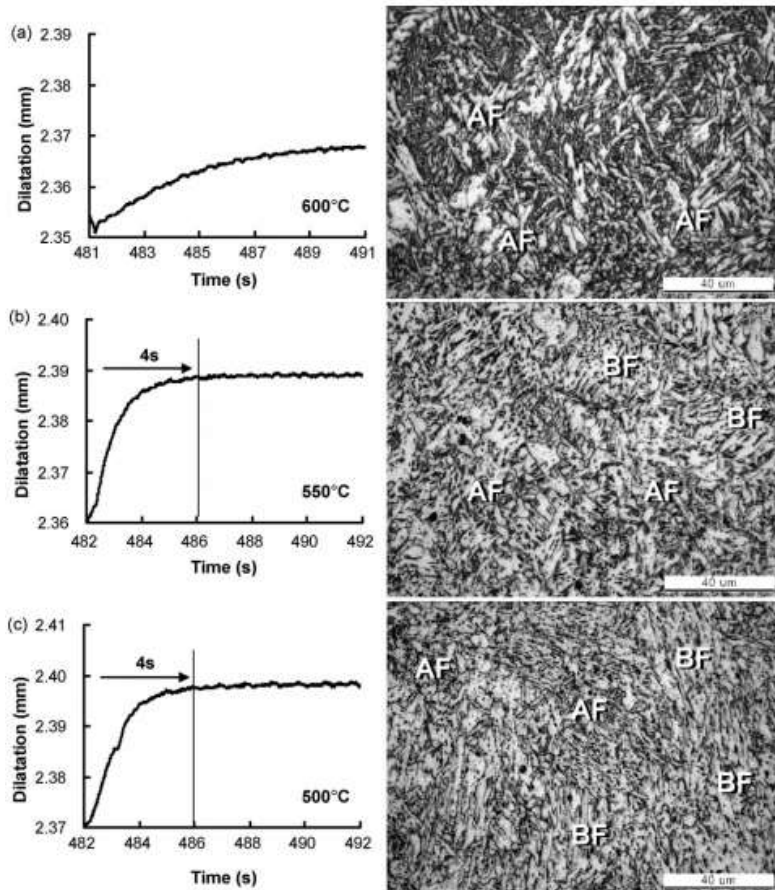
Pada gambar tersebut terlihat bahwa asikular ferit lebih terlihat seperti pipih ataupun tajam menyerupai jarum. Selain itu wan juga mengukur luasan dari butir asikular ferit tersebut dari gambar tiga dimensi tersebut. Sebanyak 33 butir asikular ferit telah diukur. Histogram dari pengukuran asikular ferit terdapat pada gambar 2.12. Dapat dilihat pada gambar bahwa rata-rata panjang, lebar dan ketebalan butir asikular ferit adalah 22 μm , 9 μm dan 3 μm , masing-masing. Selain itu setelah diukur sebanyak 33 butir asikular ferit, maka dibuatlah grafik frekuensi untuk melihat rata-rata ukuran lebar dan tebal dari asikular ferit yang dapat dilihat pada gambar 2.12. Pada gambar tersebut dapat diamati ukuran yang biasanya dimiliki oleh asikular ferit pada pengujian tersebut.



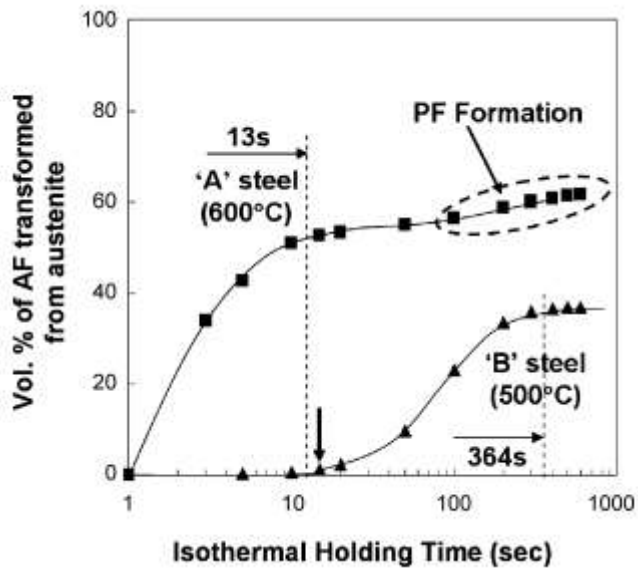
Gambar 2.11 Distribusi ukuran length (a), lebar (b) dan ketebalan (c) butir asikular ferit (sumber: Wan, 2010)



Pada penelitian Young Min Kim (2008) asikular ferit merupakan fasa dengan butir yang tidak beraturan dengan ferit yang menghadap kearah yang berbeda-beda pada. Ini terlihat didalam strukturmikro yang terdapat pada logam las. Pada penelitian ini dilakukan isothermal holding treatment yang didapat terbentuk asikular ferit dan bainit ferit pada strukturmikro benda kerja. Pada gambar 2.13 dibawah ini dapat diamati asikular ferit dan bainit ferit pada isothermal holding treatment dengan temperatur 500°C, 550°C dan 600°C. Pada Gambar tersebut terlihat bahwa semakin tinggi temperatur holding maka jumlah asikular ferit semakin banyak, dimana pada temperatur 500°C tidak terlalu banyak asikular ferit dan semakin bertambah pada temperatur 550°C, sedangkan pada temperatur 600°C asikular ferit hampir ke semua bagian dari fase dalam gambar. Sedangkan pada gambar 2.14 dapat dilihat kurva dari perbandingan volume asikular ferit yang bertransformasi dari austenit yang dibandingkan dengan waktu isothermal holding treatment.



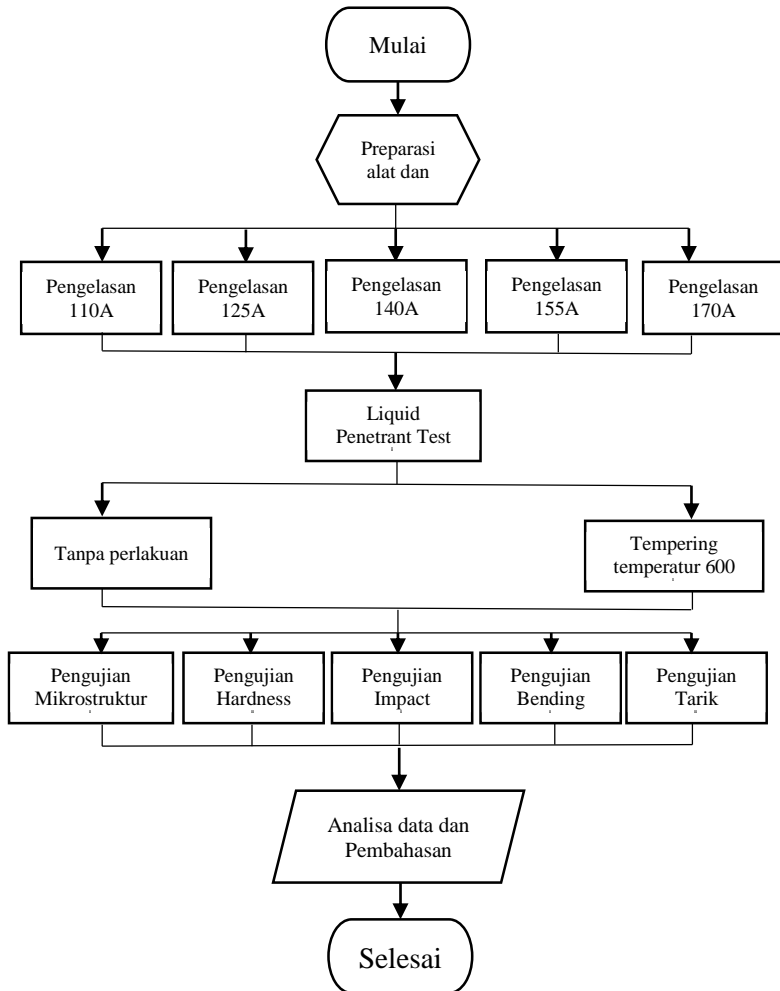
Gambar 2.12 Efek dari isothermal holding temperatur ditunjukkan dengan kurva dan mikrostruktur dengan temperatur holding 500°C, 550°C dan 600°C (sumber : Young, 2008)



Gambar 2.13 Kurva transformasi Asikular Ferit selama Isothermal holding treatment (sumber: Young, 2008)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram alir penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir



3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang di gunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Plate ASME SA 516 grade 55

Dengan Dimensi sebagai berikut :

Thickness : 10mm

Width : 300 mm

Long : 300 mm

ASME SA 516 Grade 55 merupakan material yang diaplikasikan pada pembuatan bejana bertekanan dimana Komposisi Kimia dari ASME SA 516 Grade 55 dijelaskan dalam tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Komposisi Kimia ASME SA 516 Grade 55

C	Si	Mn	P	S	Mo	V	Cu
≤0.18	0.15	≤0.9	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02

Tabel 3.2 Mekanikal Properties ASME SA 516 Grade 55

properties	Nilai
Tensile strength	448 MPa
Yield stress	206 Mpa

$$CE = 0.26 + \frac{1.03}{6} + \frac{0.08+0.02}{5} + \frac{0.2}{15}$$

$$= 0.45 \%$$

2. Elektroda yang digunakan

AWS E7018-1 Dengan diameter 3.2 mm. Komposisi Kimia dari AWS E7018-1 dijelaskan dalam tabel berikut :

Tabel 3.3 Komposisi Kimia AWS E7018-1

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V
0.15	0.75	1.6	0.035	0.035	0.2	0.3	0.3	0.08

**Tabel 3.4** Mekanikal Properties AWS E7018-1

Proprties	Nilai
Tensile strength	605 MPa
Yield stress	515 Mpa
Elongation	22 %

$$\begin{aligned} CE &= 0.15 + \frac{1.6}{6} + \frac{0.2+0.3+0.08}{5} + \frac{0.3}{15} \\ &= 0.553 \% \end{aligned}$$

3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Welding Mesin dengan spesifikasi MILLER SRH 500
2. Welding Torch
3. Welding Clamp
4. Helm Pelindung
5. Kacamata
6. Chipping
7. Mesin Mikroskop Optik
Digunakan untuk melihat struktur spesimen dalam skala mikro.
8. Mesin Uji Kekerasan
Digunakan untuk menguji kekerasan spesimen. Metode yang digunakan adalah uji kekerasan vickers.
9. Mesin Uji Tarik
10. Mesin Uji impact Charpy
11. Furnace
Digunakan untuk melakukan proses tempering

3.3 Variabel Penelitian

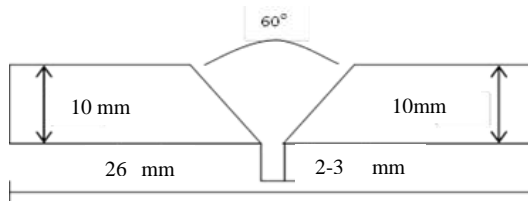
Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah besar dari parameter yang digunakan dalam pengelasan.



3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah material ASME SA 516 Grade 55 dengan proses pengelasan menggunakan elektroda dengan klasifikasi E7018-1. Material SA 516 Grade 55 dipersiapkan sebanyak dua plat dengan ketebalan yang berbeda, untuk material sample A digunakan material SA 516 Grade 55 dengan tebal 10mm. Setelah melakukan persiapan bahan sesuai dengan tahapan di atas pertama plat yang sudah siap di las di bentuk bavelnya dengan ketentuan yang sesuai dengan AWS D1.1 dijelaskan pada gambar berikut :



Gambar 3.2 Pembentukan Bavel

3.4.2 Pengelasan

Proses pengelasan dilakukan dengan parameter yang berbeda. Untuk plat A di las dengan besar arus 110A. Lalu untuk plat B di las dengan besar arus 125A. Plat C dilas dengan besar arus 140A dan plat D dilas dengan arus 155A serta Plat E dilas dengan arus 170A. Pada penelitian ini untuk voltase dan travel speed dibuat sama yaitu 22 V untuk voltase dan kecepatan pengelasannya sebesar 40 mm/min (0,67 mm/sec).

Pengelasan pada penelitian ini dilakukan dengan acuan parameter yang terdapat pada tabel berikut:

**Tabel 3.5** Parameter Pengelasan

No	Nama	Parameter Pengelasan				
		Polaritas	Arus	Volt	Travel speed (mm/min)	Heat Input (J/mm)
1	Sample A	DCEN	110 A	22	40	3611,940
2	Sample B	DCEN	125 A	22	40	4104,477
3	Sample C	DCEN	140 A	22	40	4597,014
4	Sample D	DCEN	155 A	22	40	5089,552
5	Sample E	DCEN	170 A	22	40	5582,089

Semua proses pengelasan menggunakan Elektroda AWS E7018 – 1 berdasarkan pada acuan buku manufaktur elektroda (ESAB).

Perbedaan parameter pengelasan mempengaruhi cooling rate pada pengelasan. Persamaan dari perhitungan cooling rate teoritis dari pengelasan ialah.

$$R = \frac{2\pi \cdot k(T_c - T_o)^2}{H_{nett}} \quad (\text{sumber: ASM Metal Handbook})$$

Maka didapatlah perhitungan sebagai berikut:

$$R \text{ sample A} = \frac{2\pi \cdot 0,028(750-25)^2}{3611,940 \times 2,39} = 10,706 \text{ } ^\circ\text{C/s}$$

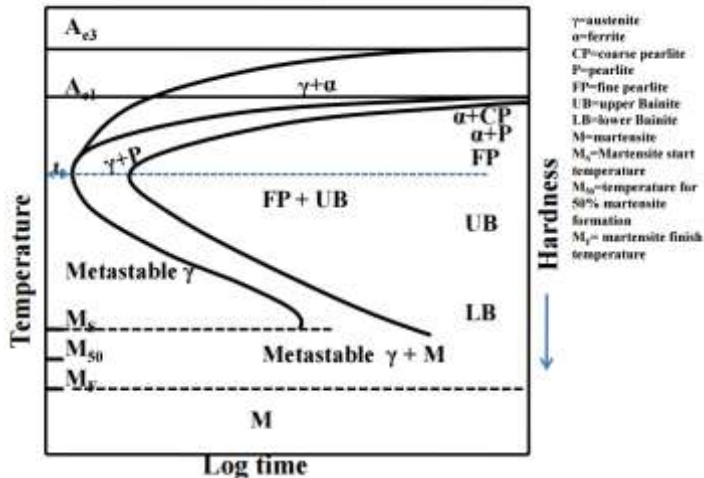
$$R \text{ sample B} = \frac{2\pi \cdot 0,028(750-25)^2}{4104,477 \times 2,39} = 9,421 \text{ } ^\circ\text{C/s}$$

$$R \text{ sample C} = \frac{2\pi \cdot 0,028(750-25)^2}{4597,014 \times 2,39} = 8,412 \text{ } ^\circ\text{C/s}$$

$$R \text{ sample D} = \frac{2\pi \cdot 0,028(750-25)^2}{5089,552 \times 2,39} = 7,598 \text{ } ^\circ\text{C/s}$$

$$R \text{ sample E} = \frac{2\pi \cdot 0,028(750-25)^2}{5582,089 \times 2,39} = 6,927 \text{ } ^\circ\text{C/s}$$

Berikut ialah CCT diagram untuk baja karbon rendah dengan 0.2% karbon



Gambar 3.3 Diagram TTT untuk baja karbon rendah hypoeutectoid (0.2% karbon) (sumber : ASM Metal Handbook)

3.4.3 Liquid Penetrant Test

Selanjutnya dilakukan proses Liquid Penetrant Test setelah proses pengelasan berlangsung untuk mengetahui apakah ada cacat las yang ditemukan pada hasil lasan. Liquid Penetrant Test dilakukan berdasarkan pada standar ASME section V artikel 6. Tahapan – tahapan yang perlu dilakukan dalam melakukan liquid penetrant test adalah:

1. Bersihkan permukaan yang nantinya di semprotkan oleh liquid penetrant hingga bersih.
2. Semprotkan Liquid Penetrant ke permukaan material.



Gambar 3.4 Liquid Penetrant

3. Tunggu 5 sampai 10 menit hingga liquid penetrant benar – benar masuk ke dalam permukaan material.
4. Bersihkan permukaan dari cairan penetrant hingga bersih.
5. Lalu semprotkan permukaan dengan developer dan tunggu hingga 10 menit.



Gambar 3.5 Developer

6. Lalu bersihkan permukaan dari cairan developer.
7. Evaluasi permukaan dari deteksi cacat dan kerusakan pada hasil lasan.



Gambar 3.6 Liquid Penetrant Test

3.4.4 Proses Perlakuan Panas tempering

Setelah di inspeksi secara visual dengan liquid penetrant test, langkah selanjutnya adalah melakukan perlakuan panas berupa tempering dengan menggunakan furnace pada temperatur 600°C. Metode pengerjaannya adalah dengan memasukkan spesimen ke dalam furnace dan men-set furnace pada temperatur tempering 600°C. Lalu setelah mencapai temperatur tersebut furnace dimatikan dan dilakukan holding selama 2 jam, setelah itu specimen dilakukan normalizing dengan temperatur kamar.

3.4.6 Pengujian

3.4.6.1 Pengujian Metalografi

Dari masing – masing proses pengelasan diambil 1 buah spesimen yang telah dibuat untuk pengujian foto mikro. Pada spesimen metalografi yang diamati adalah pada base metal, daerah HAZ, dan weld metal nya sesuai dengan standart ASTM – E3.

1. Dilakukan persiapan spesimen dengan menggunakan mesin grinda dan pengamplasan.
2. Pemotongan menggunakan mesin geraji.
3. Hasil pemotongan dihaluskan menggunakan mesin grinda dan pengamplasan.



4. Permukaan yang nantinya diuji dihaluskan dengan mesin poles dengan tingkat 120 – 2000.
5. Permukaan digosok dengan kain bludru yang ditaburi dengan serbuk alumina hingga permukaan bersih, mengkilap seperti cermin.
6. Proses etsa spesimen dicelupkan dalam larutan nital selama beberapa saat, kemudian dibilas dengan etanol 97% agar permukaan tidak terkorosi secara berlebihan.



Gambar 3.7 Mikroskop Optik Olympus BX51M-RF

3.4.6.2 Pengujian Tarik

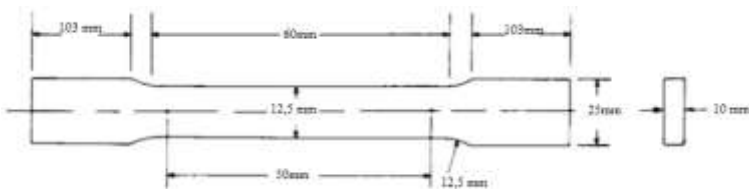
Uji tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik (σ_u) dan kekuatan luluh (σ_y) dari sambungan las. Dari uji tarik ini diperoleh kualitas sambungan las, apakah specimen putus didaerah lasan atau didaerah lain.

Besarnya beban dan pertambahan panjang dihubungkan langsung dengan sebuah perangkat komputer, sehingga dapat diperoleh grafik tegangan (Kgf/mm²) dan perpanjangan (mm) yang memberikan informasi data berupa kekuatan tarik (Kgf/mm²) dan perpanjangan atau elongation (%) ketangguhan dan keuletan butt weld joint yang diuji tarik

Adapun bentuk specimen uji tarik mengikuti standar ASTM E-8 untuk uji tarik las, dijelaskan pada gambar berikut.



Gambar 3.8 HT-9501 Computer Servo Hydraulic Universal Testing Machine



Gambar 3.9 Spesimen Uji Tarik

3.4.6.3 Pengujian Kekerasan

3.4.6.3.1 Makro hardness Vickers

Pada pengujian kekerasan dengan menggunakan metode vickers sesuai dengan ASTM E92 HV 10 dilakukan beberapa tahap pengerjaan. Tahap – tahap yang dilakukan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan spesimen hasil dari uji foto makro.
2. Spesimen yang digunakan dalam pengujian hardness vickers adalah material yang sebelumnya telah dilakukan uji foto

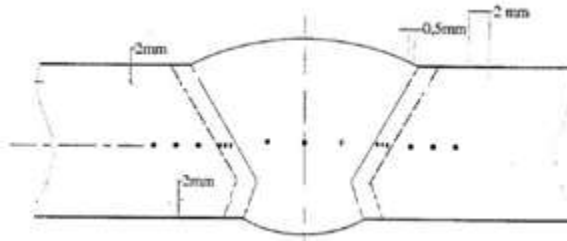


- makro, mengingat bahwa uji hardness ini memerlukan tingkat kehalusan dari permukaan specimen uji hampir sehalus pada specimen foto makro, kurang lebih hingga grade 1500.
3. Mempersiapkan peralatan pengujian hardness, untuk pengujian yang dilakukan 3 titik pengujian pada base metal, 3 titik pada HAZ , dan 3 titik pada weld metal pada makrohardness dan masing masing 1 titik untuk mikrohardnes pada asikular ferit dan ferit di weld, HAZ dan base metal.
 4. Pengujin dilakukan pada posisi center.
 5. Meletakan material uji pada meja kerja, menekan indenter pada masing – masing lokasi yang diinginkan pada masing – asing specimen dengan beban yag ditentukan sesuai standart.
 6. Indenter berbentuk dimond diletakkan pada tempat yang diuji kekerasannya dengan cara menarik handle yang ada di samping mesin. Handle dilepas, sehingga indenter menekan spesimen dengan dwell time 10 detik dengan pembebanan 30kg untuk makrohardness.
 7. Mencatat hasil pengukuran.

$$VHN = 1,854 \frac{p}{n^2}$$



Gambar 3.10 Peralatan Uji Hardness HBRV



Gambar 3.11 Posisi Pengujian Vickers Hardness Test

3.4.6.3.2 Mikro hardness Vickers

Pada pengujian kekerasan mikro dengan menggunakan metode vickers sesuai dengan ASTM E384-16 dilakukan beberapa tahap pengerjaan. Tahap – tahap yang dilakukan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan spesimen hasil dari uji foto mikro.
2. Spesimen yang digunakan dalam pengujian microhardness vickers adalah material yang sebelumnya telah dilakukan uji foto mikro, mengingat bahwa uji hardness ini memerlukan tingkat kehalusan dari permukaan specimen uji hampir



- sehalus pada specimen foto mikro, kurang lebih hingga grade 2000 lalu di etsa untuk memunculkan strukturnya.
3. Mempersiapkan peralatan pengujian hardness, untuk pengujian yang dilakukan 1 titik pengujian pada asikular ferit dan ferit di weld, HAZ dan base metal.
 4. Pada mikroharden, sampel yang digunakan ialah spesimen parameter arus 140 A tanpa perlakuan dan 140 A dengan perlakuan dikarenakan merupakan variabel tengah.
 5. Meletakkan material uji pada meja kerja, menekan indenter pada lokasi yang diinginkan pada specimen,
 6. Indenter berbentuk dimond diletakkan pada tempat yang diuji kekerasannya dengan cara menarik handle yang ada di samping mesin. Handle dilepas, sehingga indenter menekan spesimen dengan dwell time 10 detik dengan pembebanan 10 gram untuk mikroharden.
 7. Mencatat hasil pengukuran.



Gambar 3.12 Alat uji kekerasan wolpert wilson micro machine

3.4.6.4 Pengujian Impact

Dasar pengujian impak ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji

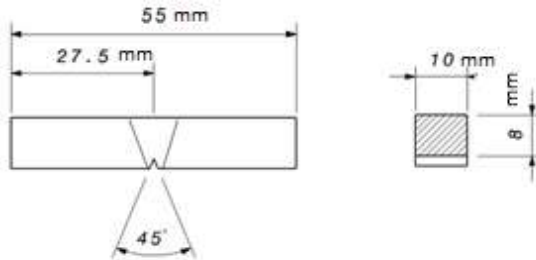


mengalami deformasi. Secara umum benda uji impak dikelompokkan ke dalam dua golongan sampel standar yaitu : batang uji Charpy sebagaimana telah ditunjukkan pada Gambar 3.11. Benda uji Charpy memiliki luas penampang lintang bujur sangkar ($10 \times 10 \text{ mm}$) dan memiliki takik (notch) berbentuk V dengan sudut 45° , dengan jari-jari dasar $0,25 \text{ mm}$ dan kedalaman 2 mm .

Benda uji diletakkan pada tumpuan dalam posisi mendatar dan bagian yang bertakik diberi beban impak dari ayunan bandul sesuai dengan standar ASTM E23, sebagaimana telah ditunjukkan oleh gambar 3.13. Pada pengujian impact ini takik dibuat pada weld metal untuk mengetahui ketangguhannya dari zona weld metalnya.



Gambar 3.13 Alat mesin uji Charpy Stutgart



Gambar 3.14 Spesimen uji impact

3.4.6.5 Pengujian Bending

Uji lengkung (*bending test*) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji bending digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kekenyalan hasil sambungan las baik di weld metal maupun HAZ. Pada pengujian bending ini menggunakan standar ASTM E190 untuk standar pengujian bending spesimen lasan.



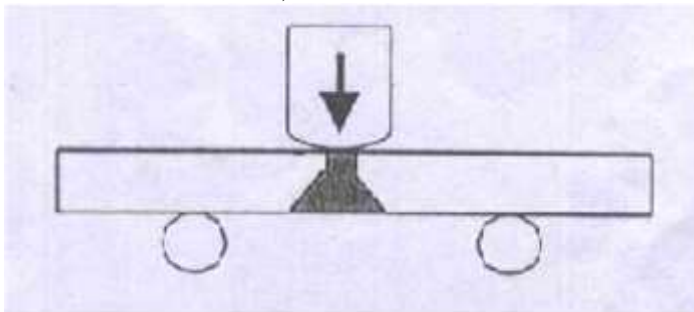
Gambar 3.15 Alat mesin uji tarik MFL universal



Berdasarkan arah pembebanan dan lokasi pengamatan, pengujian transversal bending dibagi menjadi tiga :

a. Face Bend (Bending pada permukaan las)

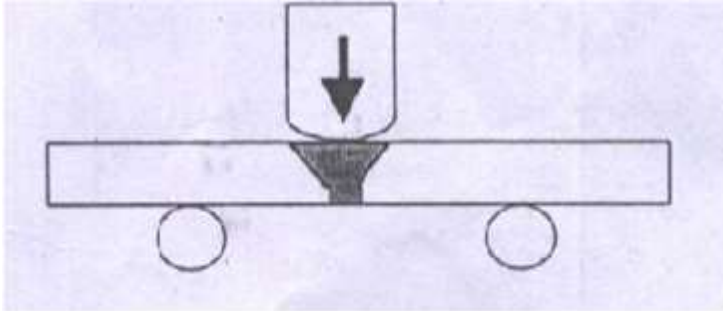
Dikatakan Face Bend ketika bending dilakukan sehingga permukaan las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan (gambar 3.16). Pengamatan dilakukan pada permukaan las yang mengalami tegangan tarik. Apakah timbul retak atau tidak. Ketika timbul retak, di manakah letaknya, apakah di weld metal, HAZ atau di fusion line (garis perbatasan WM dan HAZ).



Gambar 3.16 Face Bend pada transversal Bending

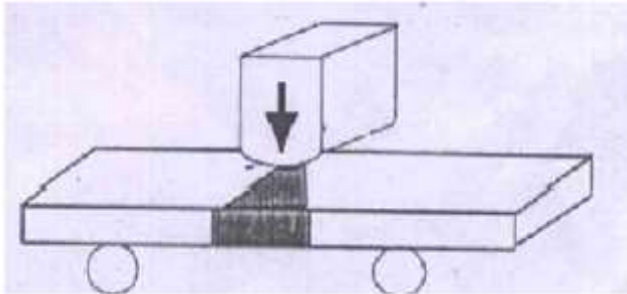
b. Root Bend (Bending pada akar las)

Dikatakan Root Bend jika bending dilakukan sehingga akar las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan (gambar 3.17). Pengamatan dilakukan pada akar las yang mengalami tegangan tarik, apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak dimanakah letaknya, apakah di weld metal. HAZ atau di fusion line (garis perbatasan WM dan HAZ).



Gambar 3.17 Root Bend pada transversal Bending
c.Side Bend (Bending pada sisi las).

Dikatakan Side Bend ketika bending dilakukan pada sisi las (gambar 3.18). Pengujian ini dilakukan dengan ketebalan material yang di las lebih besar dari 3/8 inchi. Pengamatan dilakukan pada sisi las tersebut, apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak dimanakah letaknya, apakah di Weld metal, HAZ atau di fusion line (garis perbatasan WM dan HAZ).



Gambar 3.18 Side Bend pada transversal Bending



3.5 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian yang dilakukan pada pengelasan ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3.6 Tabel Perancangan Eksperimen

Heat Input	Perlakuan	Foto mikro	Uji Hardness	Uji Impact	Uji Bending	Uji Tarik
110 A (3611,940 KJ/mm)	Tanpa perlakuan					
	600 °C					
125 A (4104,477 KJ/mm)	Tanpa perlakuan					
	600 °C					
140 A (4597,014 KJ/mm)	Tanpa perlakuan					
	600 °C					
155 A (5089,552 KJ/mm)	Tanpa perlakuan					
	600 °C					
170 A (5582,089 KJ/mm)	Tanpa perlakuan					
	600 °C					

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil foto makro spesimen

Dari hasil foto makro didapatkan gambar hasil lasan pada spesimen, dari zona base metal, HAZ dan weld metal. Bentuk dan lebar dari HAZ pada umumnya dipengaruhi oleh besar heat input dan kecepatan pengelasan. Hasil pengamatan makro terhadap spesimen dapat dilihat pada gambar dibawah berikut :



Gambar 4.1 Hasil foto makro sampel parameter 110A tanpa perlakuan



Gambar 4.2 Hasil foto makro sampel Parameter 125A tanpa perlakuan



Gambar 4.3 Hasil foto makro sampel Parameter 140A tanpa perlakuan



Gambar 4.4 Hasil foto makro sampel parameter 155A tanpa perlakuan



Gambar 4.5 Hasil foto makro sampel parameter 170A tanpa perlakuan



Gambar 4.6 Hasil foto makro sampel parameter 110A dengan perlakuan



Gambar 4.7 Hasil foto makro sampel parameter 125A dengan perlakuan



Gambar 4.8 Hasil foto makro sampel parameter 140A dengan perlakuan



Gambar 4.9 Hasil foto makro sampel parameter 155A dengan perlakuan



Gambar 4.10 Hasil foto makro sampel parameter 170A dengan perlakuan

Pada gambar 4.1 hingga 4.10 dapat diamati bahwa base metal, HAZ dan weld terdapat perbedaan warna yg membatasi masing-masing zona. Hasil yang didapat dari pengukuran menggunakan jangka sorong bahwa terjadi kenaikan HAZ seiring naiknya parameter arus pada pengelasan. Untuk data perbandingan lebar HAZ untuk tiap parameter pengelasan dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.



Tabel 4.1 Perbandingan lebar HAZ untuk tiap parameter pengelasan

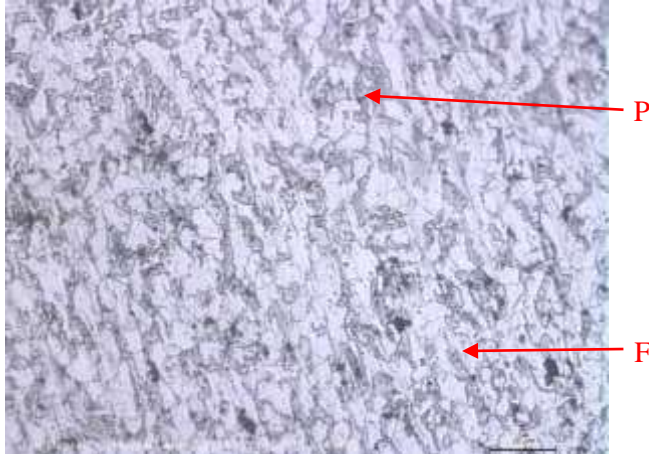
No	Parameter arus	Lebar HAZ (mm)
1	110 A tanpa perlakuan	1,95
2	125 A tanpa perlakuan	2,35
3	140 A tanpa perlakuan	2,76
4	155 A tanpa perlakuan	3,20
5	170 A tanpa perlakuan	3,61
6	110 A Perlakuan	1,95
7	125 A Perlakuan	2,35
8	140 A Perlakuan	2,76
9	155 A Perlakuan	3,20
10	170 A Perlakuan	3,61

Pada tabel tersebut dapat diamati bahwa semakin tinggi parameter arus maka HAZ akan semakin lebar. Selain itu untuk parameter tempering dapat diamati jika pemberian perlakuan pada spesimen las tidak mempengaruhi lebar HAZ. Untuk perhitungan lebar HAZ secara teori dapat dilihat pada lampiran.



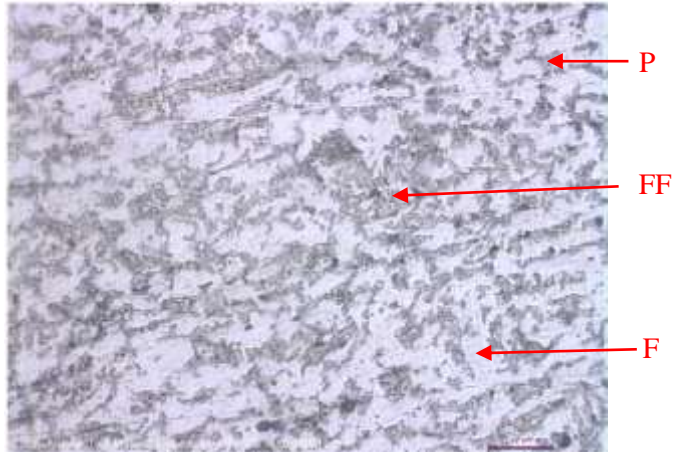
4.2 Hasil Pengujian metalografi

Dari pengujian metalografi menggunakan Mikroskop Optik didapatkan hasil struktur mikro dari benda kerja. Untuk identifikasi struktur mikro pada base metal dapat dilihat pada gambar 4.11 berikut.



Gambar 4.11 Hasil foto mikro base metal dengan perbesaran 500x tanpa perlakuan

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa base metal tersebut terdiri dari struktur mikro ferrite dan perlite. Ferrite yang berwarna putih atau lebih cerah yang ditandai dengan F sedangkan perlite yang memiliki warna lebih gelap yang diberi keterangan P. Selanjutnya pada gambar dibawah dapat dilihat hasil pengujian metalografi pada base metal setelah pemberian perlakuan. Untuk gambar tersebut untuk keterangan FF merupakan butir-butir ferit halus atau biasa disebut fine ferit.

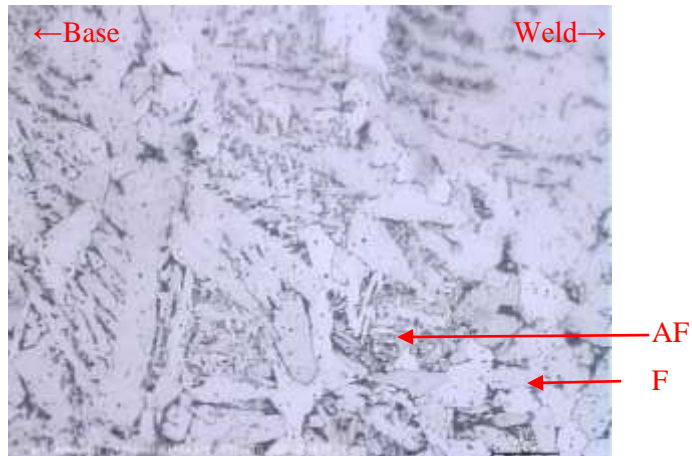


Gambar 4.12 Hasil foto mikro base metal setelah perlakuan dengan perbesaran 500x

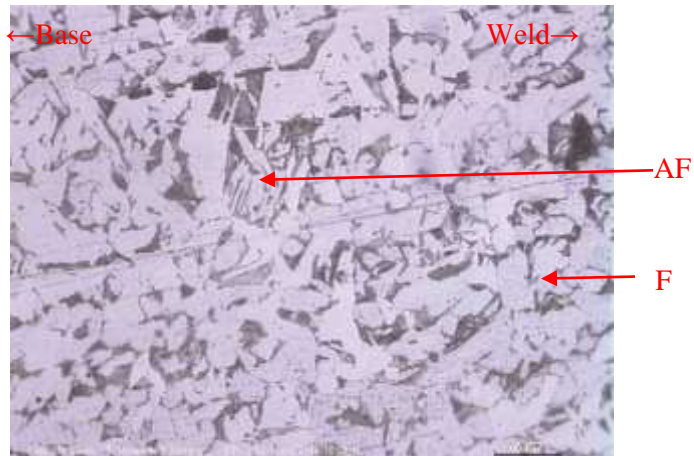
Pada foto mikro base metal setelah perlakuan dapat diamati bahwa terbentuk butir-butir ferit halus pada batas butir.

4.2.1 Metallografi HAZ

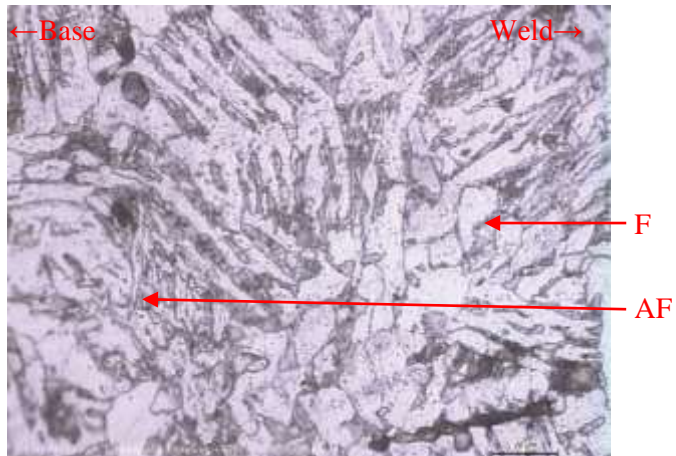
Selanjutnya membahas pengaruh arus pengelasan terhadap transformasi struktur mikro pada daerah HAZ. Pada analisa ini difokuskan pada identifikasi ferit dan terbentuknya asikular ferit serta fine ferit pada benda kerja. Keterangan pada gambar 4.13 hingga 4.17 dapat diamati F menunjukkan Ferit sedangkan AF menunjukkan asikular ferit serta FF menunjukkan fine ferit atau ferit halus pada foto mikro.



Gambar 4.13 Hasil pengamatan mikrostruktur HAZ pada spesimen parameter 110A tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x



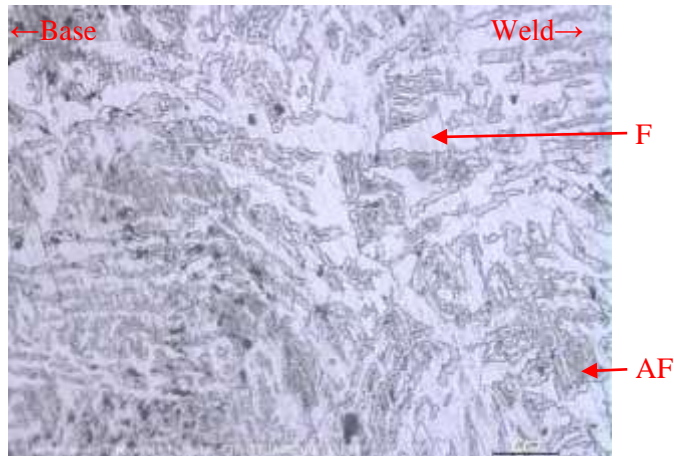
Gambar 4.14 Hasil pengamatan mikrostruktur HAZ pada spesimen 125A tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x



Gambar 4.15 Hasil pengamatan mikrostruktur HAZ pada spesimen parameter 140A tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x



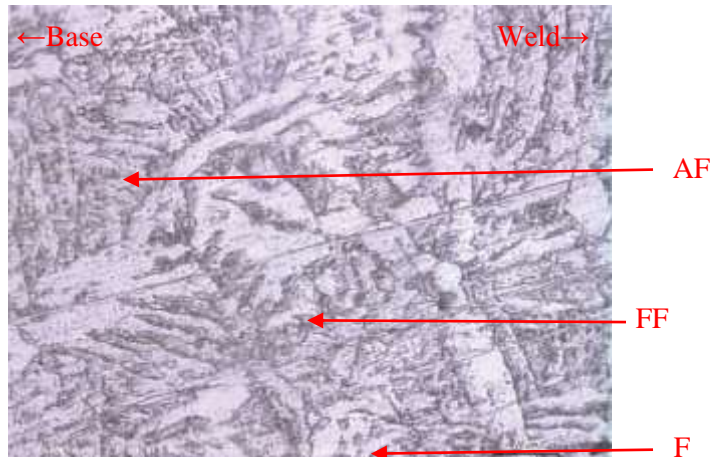
Gambar 4.16 Hasil pengamatan mikrostruktur HAZ pada spesimen 155A tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x



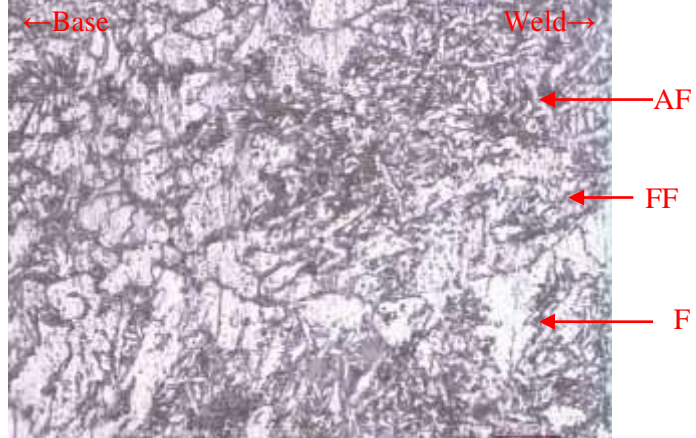
Gambar 4.17 Hasil pengamatan mikrostruktur HAZ pada spesimen 170A tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x

Pada hasil metalografi tersebut dapat dilihat jika pada HAZ dari pengelasan material ini struktur mikro yang dominan muncul ialah asikular ferit. Asikular ferit ialah struktur mikro yang berbentuk tajam dan arahnya tidak beraturan yang dapat dilihat pada gambar 4.13 hingga 4.17, sedangkan ferit ialah strukturmiko yang berbentuk poligonal. Jika diamati terlihat jika kenaikan parameter arus pada pengelasan memperbanyak jumlah asikular ferit yang terbentuk pada HAZ. Hal ini terjadi dikarenakan semakin tingginya heat input pada pengelasan maka berbanding lurus dengan semakin cepatnya cooling rate atau kecepatan penurunan temperatur pada baja lasan. Sehingga pada HAZ dari benda kerja masih banyak tersisa austenit yang terapit oleh ferit sehingga terbentuknya asikular ferit.

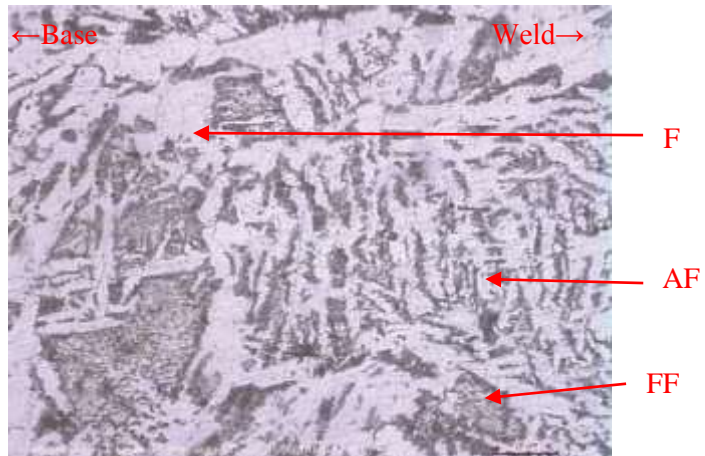
Selanjutnya dilakukan tempering terhadap benda kerja. Hasil dari foto mikro spesimen yang telah diberi tempering dapat dilihat pada gambar-gambar berikut. Pada gambar tersebut FF menunjukkan fine ferite yang terbentuk dari hasil tempering.



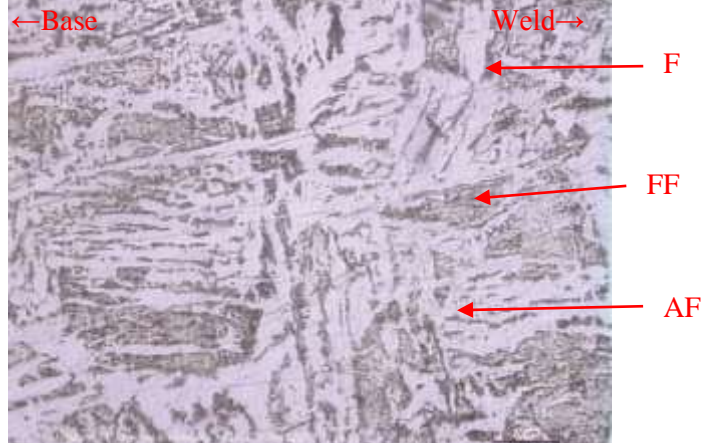
Gambar 4.18 Hasil Pengamatan mikrostruktur HAZ pada spesimen 110A perlakuan dengan perbesaran 500x



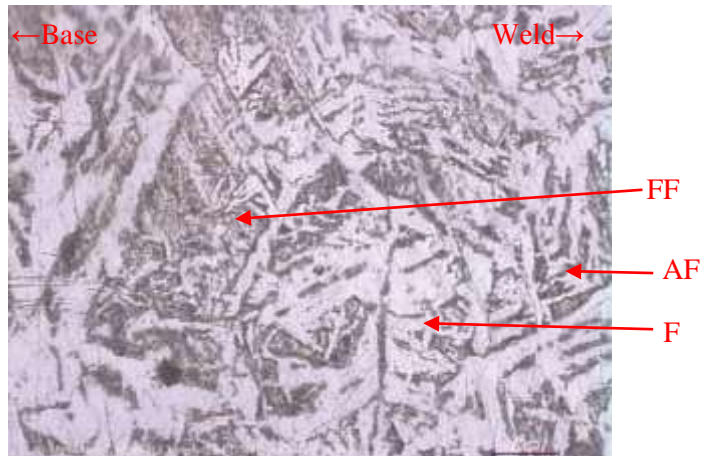
Gambar 4.19 Hasil Pengamatan mikrostruktur HAZ pada spesimen 125A perlakuan dengan perbesaran 500x



Gambar 4.20 Hasil Pengamatan mikrostruktur HAZ pada spesimen 140A perlakuan dengan perbesaran 500x



Gambar 4.21 Hasil Pengamatan mikrostruktur HAZ pada spesimen 155A perlakuan dengan perbesaran 500x



Gambar 4.22 Hasil Pengamatan mikrostruktur HAZ pada

Spesimen 170A perlakuan dengan perbesaran 500x

Pada foto mikro spesimen yang telah diberi perlakuan dapat diamati pada gambar 4.18 hingga gambar 4.22 ketika dibandingkan pada sampel foto mikro parameter tanpa perlakuan, maka terdapat beberapa fine ferrite yang muncul pada strukturmikro. Hal ini terjadi dikarenakan tempering dilakukan pada temperatur rekristalisasi yaitu sekitar 600°C sehingga terbentuk strukturmikro ferrit yang halus, namun tempering ini tidak menghilangkan asikular ferit pada benda kerja. Temperatur rekristalisasi itu sendiri ialah sekitar 500-700 °C dimana benda kerja membentuk butir-butir ferit kecil pada temperatur tersebut.

Mengacu pada ASTM E112 asikular ferit ini dapat dihitung untuk luas dari grain sizenya. Untuk hasil perhitungan grain size pada HAZ dapat dilihat pada lembar lampiran. Hasil dari perhitungan ukuran grainsize pada HAZ dapat dilihat pada tabel berikut 4.2 berikut.

**Tabel 4.2** Data hasil perhitungan grain size pada HAZ

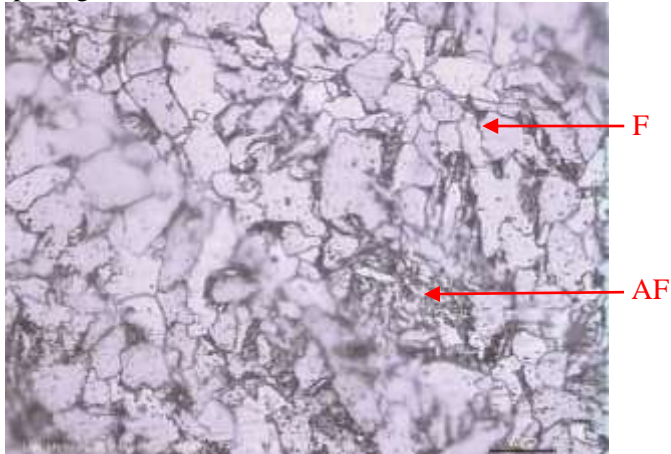
No	Parameter arus	Luas grain size
1	110A tanpa perlakuan	252,0054 μm^2
2	125A tanpa perlakuan	189,5754 μm^2
3	140A tanpa perlakuan	171,8397 μm^2
4	155A tanpa perlakuan	158,1920 μm^2
5	170A tanpa perlakuan	137,7366 μm^2
6	110 A Perlakuan	210.4268 μm^2
7	125 A Perlakuan	179.2876 μm^2
8	140 A Perlakuan	166.0192 μm^2
9	155 A Perlakuan	151.5944 μm^2
10	170 A Perlakuan	132.6352 μm^2

Pada tabel 4.2 diatas dapat terlihat semakin tinggi parameter arus yang digunakan pada pengelasan membuat ukuran butir semakin kecil. Sehingga didapat luasan grain size paling kecil terdapat pada parameter 170A tanpa perlakuan yaitu sebesar 132.6352 μm^2 . Sedangkan untuk parameter yang telah diberi perlakuan terlihat jika grain size lebih luas dibandingkan sebelum diberi perlakuan.

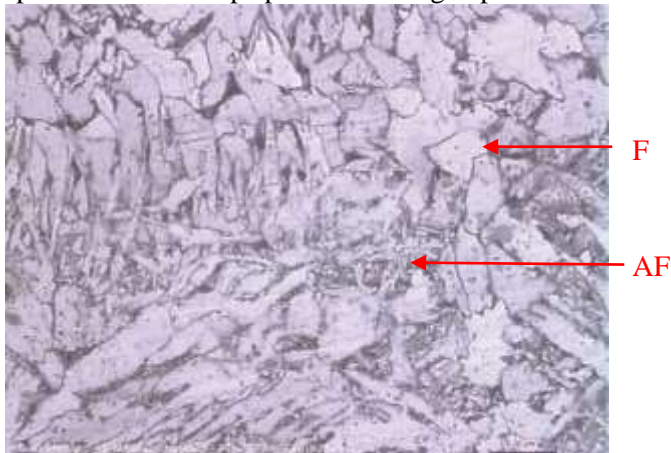


4.2.2 Metallografi Weld Metal

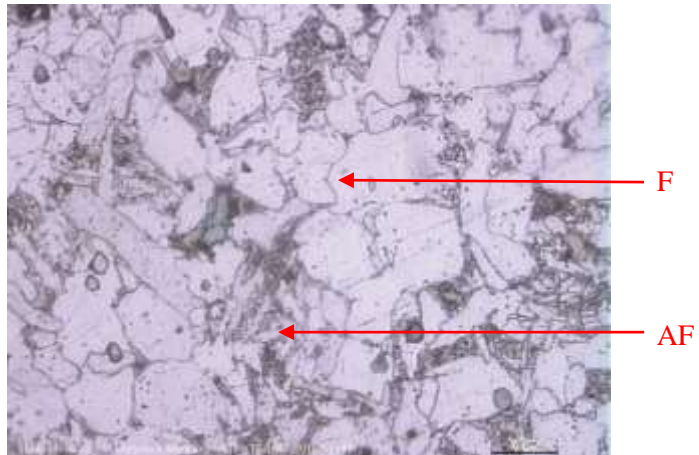
Selanjutnya ialah pembahasan mengenai metallografi pada weld metal. Untuk hasil dari metallografi weld metal dapat dilihat pada gambar berikut.



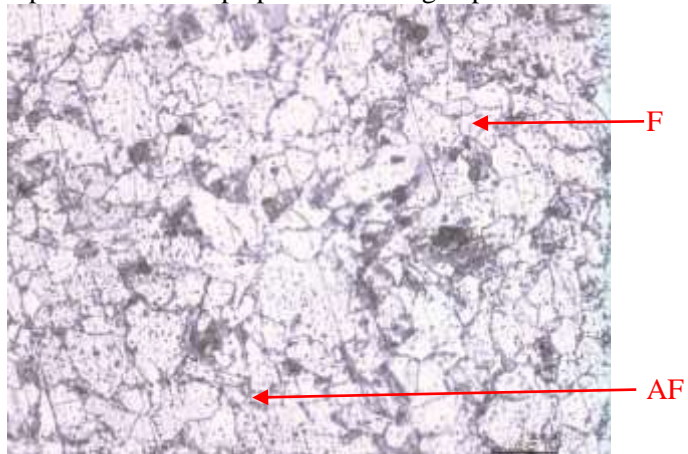
Gambar 4.23 Hasil Pengamatan mikrostruktur Weld Metal pada spesimen 110A tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x



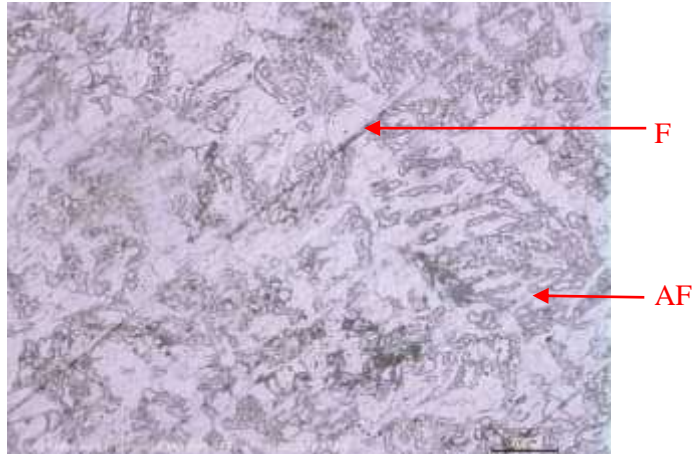
Gambar 4.24 Hasil Pengamatan mikrostruktur Weld Metal pada spesimen 125A tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x



Gambar 4.25 Hasil Pengamatan mikrostruktur Weld Metal pada spesimen 140 tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x



Gambar 4.26 Hasil Pengamatan mikrostruktur Weld Metal pada spesimen 155A tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x



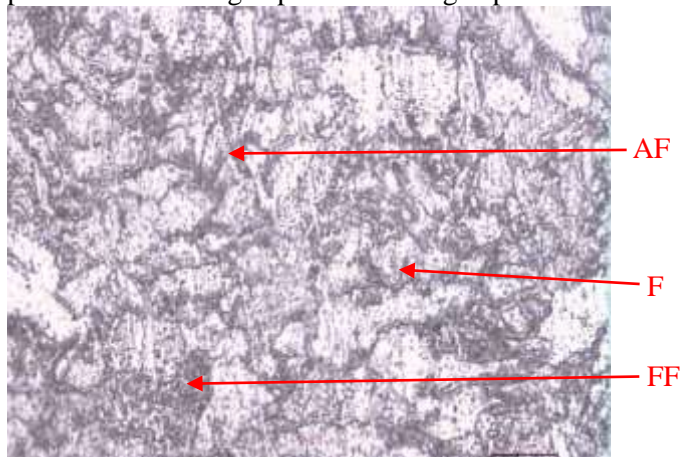
Gambar 4.27 Hasil Pengamatan mikrostruktur Weld Metal pada spesimen 170A tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x

Pada zona weld metal struktur mikro yang terbentuk terdiri dari dominan ferit yang halus atau dengan kata lain yang berukuran kecil jika dibandingkan dengan base metal yang dapat dilihat pada gambar 4.11. Ketika diamati lebih lanjut, asikular ferit juga terbentuk pada zona weld metal meskipun tidak sedominan asikular ferit yang terbentuk pada HAZ. Pada weld metal ini terdapat Ni dan Mn yang merupakan penstabil austenit dimana akan menurunkan temperatur eutektoid. Hal ini yang menyebabkan asikular ferit pada weld metal lebih sedikit jika dibandingkan pada HAZ. Pada gambar 4.23 sampai 4.27 dapat dilihat perbedaan antara ferit dan asikular ferit. Asikular ferit berbentuk pipih dan lebih tajam jika dibandingkan dengan ferit biasa.

Selanjutnya dilakukan analisa data pada weld metal yang telah diberi perlakuan yang dapat dilihat pada 4.28 hingga gambar 4.32 berikut.



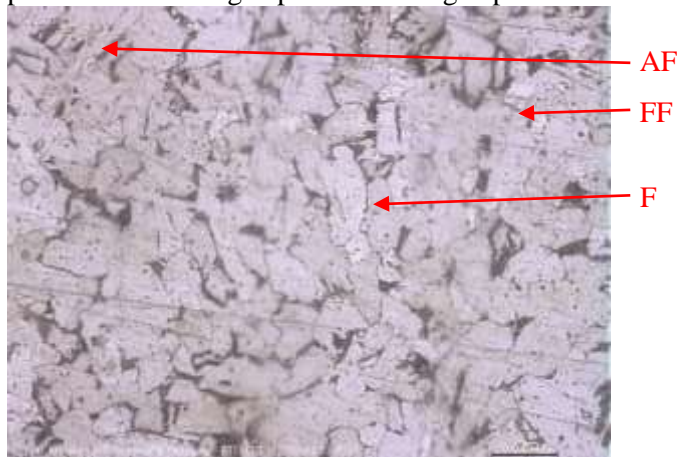
Gambar 4.28 Hasil Pengamatan mikrostruktur weld metal pada spesimen 110A dengan perlakuan dengan perbesaran 500x



Gambar 4.29 Hasil Pengamatan mikrostruktur weld metal pada spesimen 125A dengan perlakuan dengan perbesaran 500x



Gambar 4.30 Hasil Pengamatan mikrostruktur weld metal pada spesimen 140A dengan perlakuan dengan perbesaran 500x



Gambar 4.31 Hasil Pengamatan mikrostruktur weld metal pada spesimen 155A dengan perlakuan dengan perbesaran 500x



Gambar 4.32 Hasil Pengamatan mikrostruktur weld metal pada spesimen 170A dengan perlakuan dengan perbesaran 500x

Pada gambar 4.28 hingga gambar 4.32 ialah strukturmikro weld metal setelah diberi perlakuan pada temperatur 600°C dengan waktu holding selama 2 jam. Dapat diamati bahwa terbentuk butir-butir ferit yang halus (FF) pada gambar yang terbentuk pada batas butir weld metal. Butir-butir ferit yang halus ini merupakan matriks ferit yang terbentuk pada batas butir weld metal yang menyerupai partikel-partikel yang halus. Selanjutnya dapat dilihat perbandingan luas grain size pada weld metal pada tabel 4.3 berikut ini.

**Tabel 4. 3** Data hasil perhitungan grain size pada weld metal

No	Parameter arus	Luas grain size
1	110A tanpa perlakuan	210.4268 μm^2
2	125A tanpa perlakuan	179.2876 μm^2
3	140A tanpa perlakuan	166.0192 μm^2
4	155A tanpa perlakuan	151.5944 μm^2
5	170A tanpa perlakuan	132.6352 μm^2
6	110 A dengan perlakuan	189,5754 μm^2
7	125 A dengan perlakuan	171,8397 μm^2
8	140 A dengan perlakuan	158,1920 μm^2
9	155 A dengan perlakuan	145,1391 μm^2
10	170 A dengan perlakuan	126,5663 μm^2

Pada tabel diatas dapat diamati, bahwa semakin tinggi arus pengelasan maka semakin sempit luas strukturmikro pada weld metal, pada parameter perlakuan terdapat pelebaran luas grain size.

4.3 Hasil Uji Hardness

4.3.1 Hasil Uji Mikro Hardness

Pengujian mikro hardness dilakukan untuk mengetahui kekerasan suatu fasa dengan menggunakan indentor vikers dengan menggunakan skala yang mikro. Dari hasil pengujian didapat kekerasan dari tiap struktur mikro ferit dan asikular ferit pada tabel 4.3 berikut.

**Tabel 4.4** Hasil pengujian mikro vickers hardness

No.	Zona	Struktur mikro	VHN
1	Weld tanpa perlakuan	Ferit	171,2
		Asikular Ferit	201,7
2	HAZ tanpa perlakuan	Ferit	168,9
		Asikular Ferit	187,3
3	Base tanpa perlakuan	Ferit	153,6
4	Weld dengan perlakuan	Ferit	160,5
		Asikular Ferit	189,1
5	HAZ dengan perlakuan	Ferit	152,0
		Asikular Ferit	174,2
6	Base dengan perlakuan	Ferit	140,5

Pada tabel hasil pengujian diatas dapat dilihat jika kekerasan yang paling tinggi yaitu pada zona weld metal. Kekerasan tertinggi terdapat pada weld metal dikarenakan unsur paduan pada weld metal yang lebih tinggi, unsur paduan ini dapat meningkatkan nilai kekerasan. Pada weld metal kekerasan tertinggi terdapat asikular ferit. Pada HAZ strukturmikro yang paling keras juga pada asikular ferit. Sedangkan pada base metal hanya terdapat ferit dan memiliki kekerasan paling rendah dibanding kekerasan pada zona lain.








Selain itu juga dilakukan mikrohardness pada sampel yang telah diberi perlakuan, terdapat penurunan kekerasan yang terdapat pada ferit maupun asikular ferit pada setiap zona logam pada benda kerja.



4.3.2 Hasil Uji Makro Hardness

Dari pengujian hardness pada baja lasan mengacu pada standar ASTM E10 untuk pengujian makro vickers hardness. Didapatkan nilai kekerasan untuk tiap parameter pengelasannya seperti pada tabel 4.4 berikut.

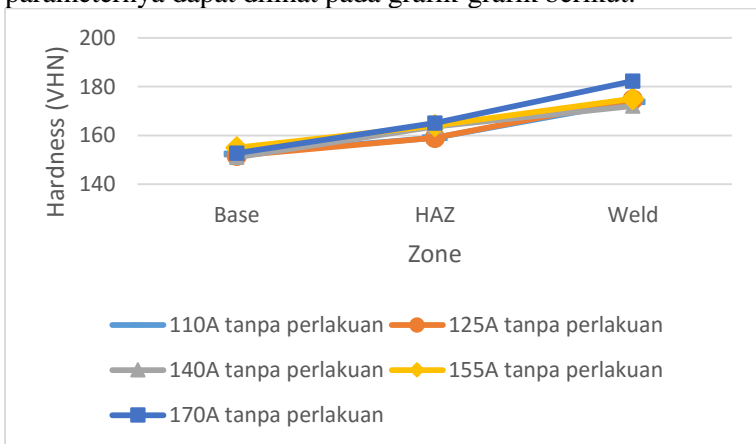
Tabel 4.5 Data hasil pengujian makrohardness

No	Parameter	Base(VHN)	HAZ(VHN)	Weld(VHN)
1	110 A tanpa perlakuan 	150	155	170
		153	158	172
		154	164	179
2	125 A tanpa perlakuan 	146	157	168
		154	157	177
		155	163	179
3	140 A tanpa perlakuan 	149	161	169
		152	163	170
		152	167	177
4	155 A tanpa perlakuan 	153	160	169
		154	165	170
		158	167	178
5	170 A tanpa perlakuan 	147	161	179
		153	164	183
		158	170	185
6	110 A Perlakuan 	133	142	163
		133	144	164
		136	154	165
7	125 A Perlakuan 	138	141	164
		138	146	164
		140	154	167
8	140 A	136	142	163

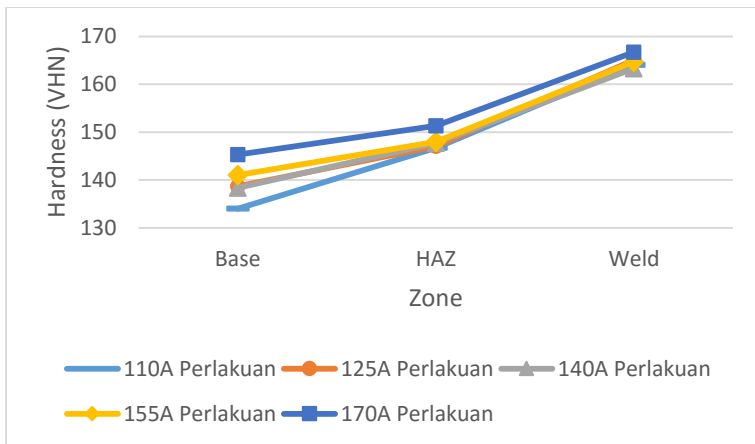


	Perlakuan	138	149	163
		141	152	164
9	155 A	139	145	161
	Perlakuan	140	149	165
		144	150	168
10	170 A	144	149	162
	Perlakuan	145	150	167
		147	155	171

Dari tabel 4.4 diatas dapat dilihat perbedaan nilai kekerasan yang dimiliki dari benda kerja setelah diberi beberapa parameter pengelasan. Untuk perbandingan kekerasan dari tiap parameternya dapat dilihat pada grafik-grafik berikut.



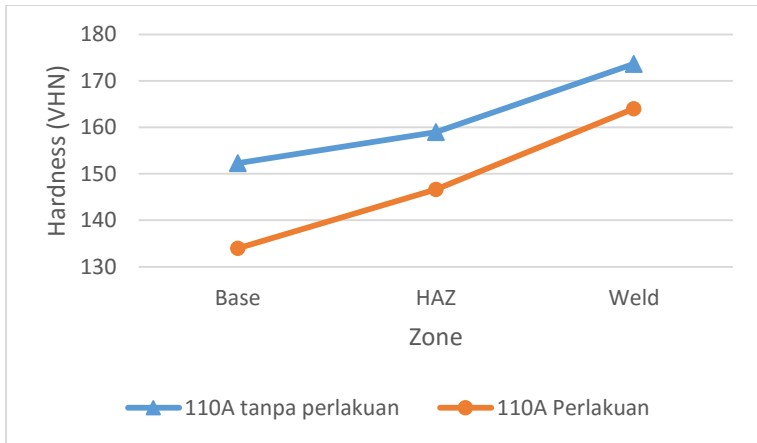
Gambar 4.33 Grafik perbandingan uji hardness parameter pengelasan tanpa perlakuan



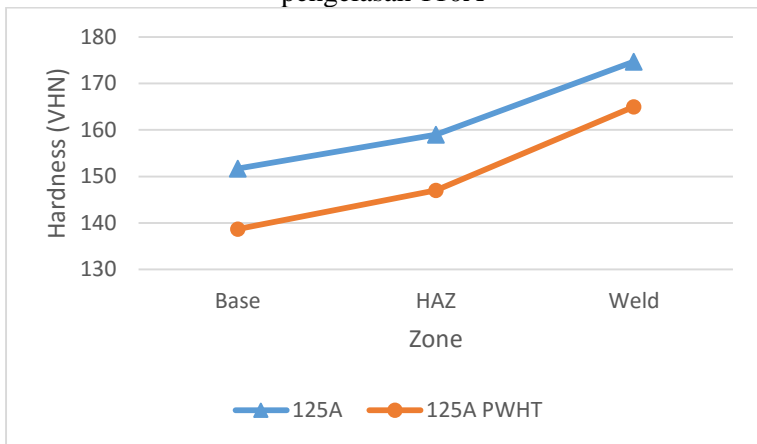
Gambar 4.34 Grafik perbandingan uji hardness parameter pengelasan dengan perlakuan 600°C

Dari gambar 4.33 dapat dilihat bahwa semakin tinggi arus yang digunakan maka berbanding lurus dengan kenaikan kekerasan pada benda kerja. Hal ini dikarenakan semakin tinggi arus yang berbanding lurus dengan tingginya heat input sehingga mempercepat cooling rate dalam pengelasan yang menyebabkan perbedaan kekerasan pada baja lasan.

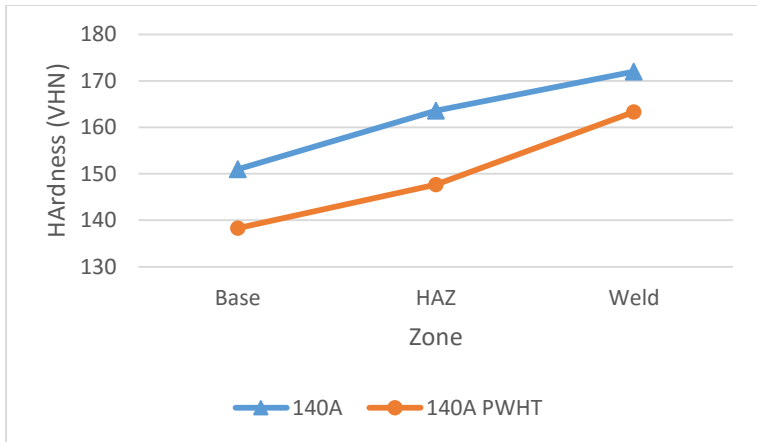
Sedangkan pada 4.34 dapat dilihat perbandingan kekerasan pada benda kerja yang diberi perlakuan, perbedaan untuk spesimen yang diberi perlakuan ialah nilai dari kekerasan dari baja lasan yang menurun, baik itu pada base metal, HAZ ataupun weld metal yang ditunjukkan dengan nilai kekerasan yang lebih kecil. Selanjutnya dapat dibandingkan untuk perbandingan penurunan kekerasan pada setiap parameter arus yang belum diberi perlakuan dengan yang telah diberi perlakuan yang grafiknya dapat dilihat pada gambar 4.35 hingga gambar 4.39 berikut.



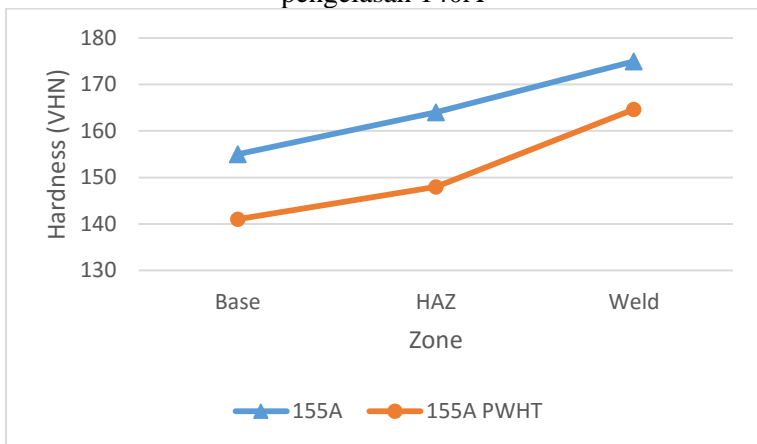
Gambar 4.35 Grafik perbandingan uji hardness parameter pengelasan 110A



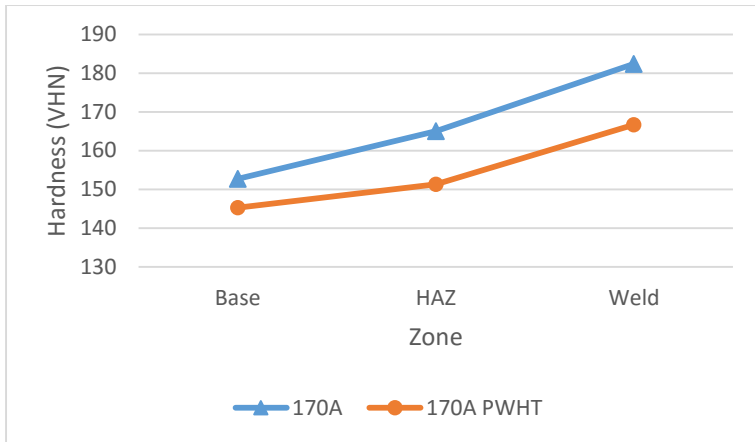
Gambar 4.36 Grafik perbandingan uji hardness parameter pengelasan 125A



Gambar 4.37 Grafik perbandingan uji hardness parameter pengelasan 140A



Gambar 4.38 Grafik perbandingan uji hardness parameter pengelasan 155A



Gambar 4.39 Grafik perbandingan uji hardness parameter pengelasan 170A

Dari gambar 4.35 hingga 4.39 tersebut dapat dilihat perbandingan baja lasan tanpa perlakuan dengan baja lasan dengan perlakuan dengan temperatur 600°C dan diholding selama 2 jam. Terlihat bahwa perlakuan dapat menurunkan kekerasan dari baja lasan. Hal ini dikarenakan pada perlakuan dengan temperatur 600°C dapat membentuk fine ferit pada baja lasan yang bersifat lebih lunak sehingga kekerasan pada baja lasan berkurang. Penurunan kekerasan pada baja lasan yang tidak terlalu signifikan yaitu kisaran 10 hingga 20 VHN.

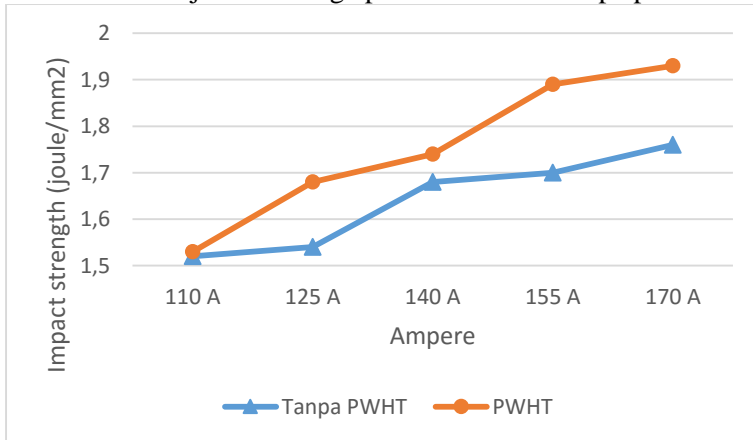
4.4 Hasil uji impact

Dari pengujian impact pada baja lasan menggunakan stuttgart impact machine dengan mengacu pada standar ASTM E23 untuk pengujian impact. Pada pengujian ini tidak diletakkan pada weld metal sehingga tegangan impact yang didapat ialah tegangan impact pada weld metal. Didapatkan tegangan impact untuk tiap parameter pengelasannya seperti pada tabel 4.5 berikut.

**Tabel 4.6** Data hasil pengujian impact

No	Parameter	Tegangan Impact (joule/mm ²)
1	110 A tanpa perlakuan	1.52
2	125 A tanpa perlakuan	1.54
3	140 A tanpa perlakuan	1.68
4	155 A tanpa perlakuan	1.70
5	170 A tanpa perlakuan	1.76
6	110 A perlakuan	1.53
7	125 A perlakuan	1.68
8	140 A perlakuan	1.74
9	155 A perlakuan	1.89
10	170 A perlakuan	1.93

Pada data hasil uji impact tersebut dapat dilihat jika tegangan impact yang paling tinggi pada parameter arus 170A dengan perlakuan. Sedangkan tegangan impact paling rendah dimiliki oleh baja lasan dengan parameter 110A tanpa perlakuan.

**Gambar 4.40** Grafik perbandingan hasil uji impact

Pada gambar 4.39 dapat dilihat grafik perbandingan dari hasil uji impact pada setiap parameter pengelasan. Terlihat jika kenaikan penggunaan arus pada spesimen menyebabkan kenaikan tegangan impact pada spesimen.



Selain itu pada gambar tersebut menunjukkan perbandingan antara spesimen yang telah diberi tempering dengan spesimen yang tanpa perlakuan. Terlihat jika pemberian tempering pada benda kerja dapat menaikkan impact strength pada spesimen.

4.5 Hasil Uji Bending

Pengujian bending dilakukan untuk mengetahui kemampuan baja lasan terhadap beban bending. Mengacu pada AWS sec IX mengenai kriteria yang diterima untuk pengujian bending ialah tidak terjadi open defect melebihi 3 mm.

Dari pengujian bending pada baja lasan menggunakan universal destructive test machine dengan mengacu pada standar ASTM E190-92 untuk pengujian bending spesimen lasan, pada tabel dibawah keterangan l ialah lebar sedangkankan d ialah diameter dari open defect, didapatkan hasil dari uji bending seperti pada tabel 4.6 berikut :

Tabel 4.7 Data Hasil pengujian Bending

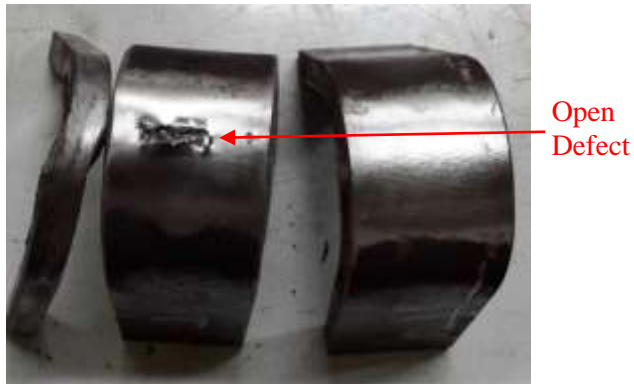
No	Sample	Position	Open Defect (mm)	Crack
1	110 A tanpa perlakuan	FB	non	non
		RB	d:1.84, l:16.02	non
		SB	Non	non
2	125 A tanpa perlakuan	FB	d:1.92, 0.97, 1.86 (edge)	non
		RB	d: 0.42, 0.86	non
		SB	non	non
3	140 A tanpa perlakuan	FB	non	non
		RB	d: 1.05, 1.20	non
		SB	non	non
4	155 A tanpa perlakuan	FB	non	non
		RB	d: 1.73, 0.77, 0.54 (Edge)	non
		SB	non	non
5	170 A	FB	d: 0.95, 0.62	non



	Tanpa perlakuan	RB	d: 2.52	non
		SB	d: 1.85	non
6	110 A Perlakuan	FB	non	non
		RB	non	non
		SB	non	non
7	125 A Perlakuan	FB	d: 1.95, 1.56, 0.83, 0.53	non
		RB	d: 1.25	non
		SB	non	non
8	140 A Perlakuan	FB	d: 0.85	non
		RB	l: 6.32(edge), d: 2.23, 1.47	non
		SB	l: 3.67(edge)	non
9	155 A Perlakuan	FB	d: 0.76, 0.59, 0.57	non
		RB	d: 0.35, 0.35	non
		SB	non	non
10	170 A Perlakuan	FB	non	non
		RB	d: 1.25, 0.89, 3.00	non
		SB	d: 1.08 (edge)	non

Pada tabel tersebut setelah dianalisa pada benda tidak ditemukan terjadi crack pada semua spesimen yang telah diberikan pengujian bending. Namun setelah diamati ditemukan open defect pada beberapa spesimen pengelasan.

Pada tabel tersebut didapat 2 spesimen yang memiliki open defect melebihi 3 mm yaitu pada spesimen 110A tanpa perlakuan dan spesimen 140A perlakuan dapat dilihat pada gambar berikut sehingga kedua data pada sampel tersebut tidak dapat digunakan. Secara keseluruhan dapat dikatakan jika pada pengelasan ini masih masuk dalam kriteria dari bending strength.



Gambar 4.41 Gambar hasil dari pengujian bending spesimen 110A tanpa perlakuan



Gambar 4.42 Gambar hasil dari pengujian bending spesimen 140 A perlakuan

4.6 Hasil Uji Tensile

Pengujian tarik pada baja lasan ini dilakukan untuk mengetahui apakah sambungan lasan baik atau tidak dan untuk mengetahui letak patah material pada saat diuji tarik. Untuk las-lasan yang baik ialah spesimen yang jika diuji tarik dan patah dibagian base metal atau HAZ bukan dibagian weld metalnya.



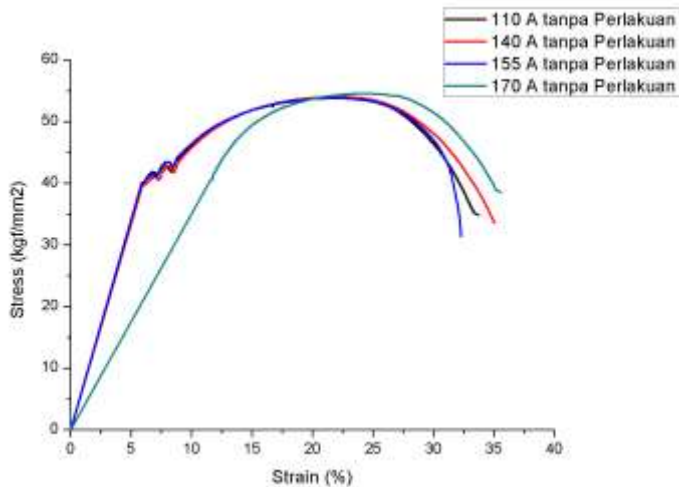
Jika suatu lasan putus pada bagian weld metal maka terjadi kesalahan pada pengelasan tersebut.

Dari pengujian tarik pada baja lasan menggunakan universal destructive test machine dengan mengacu pada standar ASTM E8 untuk pengujian tarik spesimen lasan, didapatkan hasil dari uji tarik seperti pada tabel 4.7 berikut :

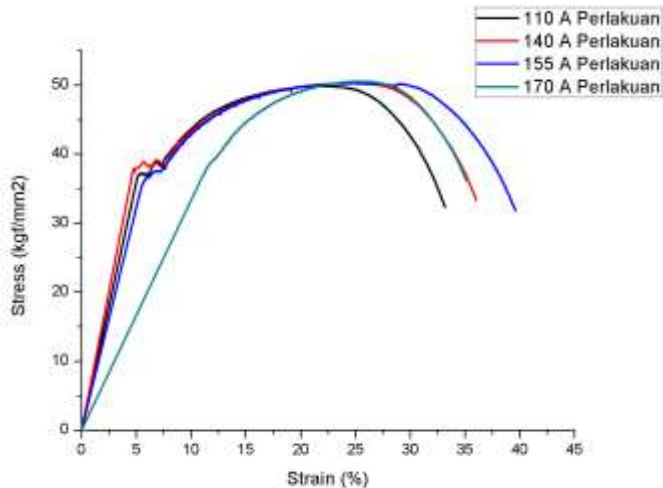
Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Tarik

Plate	YP Stress	Max Stress	UTS-YP	Max Strain	Elongasi	Fract
Size Unit:	kgf/mm ²	kgf/mm ²	Kgf/mm ²	%	%	
110 A tanpa perlakuan	39,8432	53,9320	14,0888	22,4500	8,2933	Base
125 A tanpa perlakuan	35,2669	46,4379	--	14,7917	4,5575	Weld
140 A tanpa perlakuan	39,7264	54,0450	14,3186	21,6800	7,8700	Base
155 A tanpa perlakuan	40,1326	54,3120	14,1794	21,3567	7,7400	Base
170 A tanpa perlakuan	40,5952	54,6020	14,0068	24,3800	6,3916	Base
110 A Perlakuan	36,7818	49,8380	13,0562	22,2433	8,7816	Base
125 A Perlakuan	--	35,3638	--	7,0167	--	Weld
140 A Perlakuan	37,8237	50,2608	12,4371	25,2100	10,236	Base
155 A Perlakuan	35,5829	50,2627	14,6798	24,7733	9,6333	Base
170 A Perlakuan	36,5633	50,5190	13,6267	25,3200	7,1666	Base

Pada pengujian tarik tersebut didapatkan satu parameter spesimen yang tidak dapat dilihat nilai dari kekuatan tariknya yaitu pada parameter arus 125 A, hal ini dikarenakan terdapat inklusi pada baja lasan.. Inklusi ini dapat terjadi dikarenakan adanya slag ataupun adanya udara yang terperangkap pada saat proses pengelasan. Selanjutnya untuk grafik tegangan regangan pada spesimen uji tarik dapat dilihat pada gambar berikut.



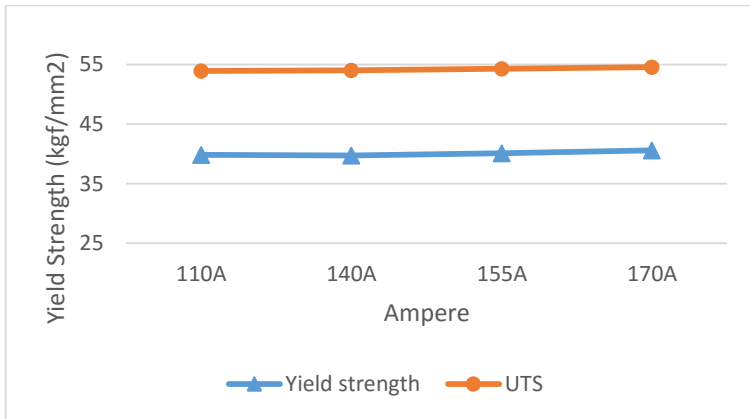
Gambar 4.43 Grafik tegangan regangan parameter tanpa perlakuan



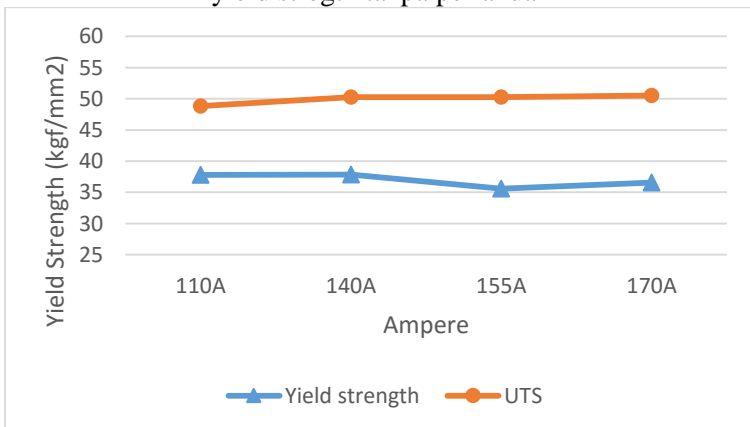
Gambar 4.44 Grafik tegangan regangan parameter dengan perlakuan



Dari grafik 4.43 dan 4.44 dapat dilihat perbandingan grafik uji tarik untuk masing-masing parameter baik dengan perlakuan ataupun tanpa perlakuan. Selanjutnya grafik perbandingan yield strength dan UTS pada tiap spesimen pada pengujian tarik dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.45 Grafik Perbandingan Ultimate Tensile Strength-yield stregh tanpa perlakuan



Gambar 4.46 Grafik Perbandingan Ultimate Tensile Strength-yield stregh perlakuan



Dari grafik perbandingan kekuatan tarik diatas dapat diamati jika nilai UTS dan yield strength pada spesimen cenderung linear dikarenakan kekuatan tarik yang didapat dari pengujian tersebut ialah base metal dari masing-masing spesimen. Sedangkan pemberian perlakuan dapat menurunkan kekuatan tarik dari benda kerja.

4.7 Pembahasan

Pada subbab pertama didapatkan hasil dari foto makro hasil las-lasan. Pada hasil analisa data yang dapat dilihat pada tabel 4.1 maka didapatkan bahwa semakin tinggi arus pengelasan berbanding lurus dengan semakin lebarnya HAZ pada benda kerja. Hal ini disebabkan pada arus yang tinggi menghasilkan heat input yang tinggi juga pada pengelasan sehingga efek panas pada pengelasan yang diterima pada benda kerja semakin jauh juga. Benda kerja yang terkena efek panas pengelasan tersebutlah yang dapat disebut HAZ. Didapatkan lebar HAZ yang paling sempit terdapat pada sampel dengan arus 110A dengan lebar HAZ sebesar 1,92 mm. Sedangkan untuk HAZ yang paling besar lebarnya didapat pada arus 170A tanpa perlakuan yaitu sebesar 3,53 mm. Sedangkan penambahan tempering tidak mempengaruhi daerah luasan HAZ. Hal ini dikarenakan energi pada saat tempering terserap untuk transformasi fasa.

Selanjutnya, didapatkan hasil dari foto mikro pada tiap spesimen. Untuk bidang yang diambil struktur mikronya ialah bagian base metal, HAZ dan weld metal dari tiap parameter pengelasan. Pada base metal dapat diamati bahwa benda kerja merupakan baja roll yang memiliki struktur mikro yang pipih. Yang dapat dilihat pada gambar 4.11. Pemberian tempering dengan temperatur 600°C pada base metal itu sendiri dapat memicu rekristalisasi ferit. Terlihat pada gambar 4.12 jika terbentuk fine ferit pada batas butir benda kerja.

Dari hasil analisa data didapatkan bahwa struktur mikro yang dominan muncul pada HAZ ialah asikular ferit yang dapat



dilihat pada gambar 4.13 hingga 4.17. Asikular ferit yang dominan terbentuk pada HAZ dibanding weld metal dikarenakan unsur yang dimiliki HAZ berbeda dengan weld metal, dimana unsur paduan pada weld metal dapat memperlambat terbentuknya ferit. Fasa austenit yang mengalami pendinginan cepat sehingga mengakibatkan transformasi pembentukan ferit yang belum sempurna dengan membentuk butir yang tajam-tajam. Dapat diamati pada gambar 4.13 hingga 4.17 jika semakin tinggi arus yang digunakan maka jumlah asikular ferit semakin banyak. Dapat diamati juga bahwa semakin tinggi arus yang digunakan pada pengelasan maka semakin kecil ukuran butir pada benda kerja, karena semakin cepat cooling rate pada benda kerja, sehingga pada saat kristalisasi struktur mikro tidak memiliki cukup waktu untuk membentuk ferit yang memiliki luasan lebih lebar. Sedangkan untuk parameter pengelasan yang telah diberi tempering terbentuk fine ferit (butiran ferit halus) pada batas butir yang dapat dilihat pada gambar 4.18 hingga 4.22, fine ferit ini terbentuk dari asikular ferit yang mengalami rekristalisasi pada batas butirnya. Hal ini dikarenakan tempering dilakukan pada temperatur rekristalisasi yaitu 600°C sehingga dapat membentuk fine ferit pada batas butirnya. Pemberian tempering dapat mempersempit strukturmikro asikular ferit yang dapat dilihat pada tabel 4.2 mengenai luasan grain size pada HAZ.

Pada weld metal struktur mikro yang dominan muncul ialah ferit yang berbentuk halus atau memiliki grain size yang kecil yang dapat dilihat pada gambar 4.23 hingga 4.28. Selain itu jumlah asikular ferit pada weld metal lebih sedikit jika dibandingkan pada HAZ, hal ini dapat disebabkan oleh paduan yang terdapat pada weld metal yaitu Mn, Ni, Cr dan Mo yang merupakan penstabil austenit. Paduan tersebut dapat menurunkan temperatur eutektoid dimana wilayah untuk terbentuknya ferit semakin kecil. Terdapatnya unsur Mn dapat mengurangi laju difusi sehingga transformasi dari austenit ke ferit lebih lama. Selain itu kombinasi Ni, Cr dan Mo menghambat transformasi dari austenit ke ferit. Hal ini yang menyebabkan asikular ferit



pada weld metal tidak terbentuk sebanyak yg terdapat pada HAZ. Pemberian tempering pada weld metal dapat membentuk fine ferit pada weld metal. Hasil dari weld metal yang telah diberi tempering dapat dilihat pada gambar 4.29 hingga 4.33. Pada gambar tersebut dapat terlihat banyak fine ferit yang terbentuk di batas butir.

Selanjutnya pengujian yang dilakukan pada penelitian ini ialah pengujian kekerasan. Pengujian kekerasan yang dilakukan ialah pengujian mikrohardnes dan pengujian makrohardnes. Pada hasil mikrohardness secara keseluruhan, yang dapat dilihat pada tabel 4.3. Pada base metal strukturmikro yang diuji kekerasannya hanyalah ferit, dan kekerasan struktur mikro ferit pada base metal ini paling rendah jika dibandingkan pada HAZ dan weld metal. Selanjutnya nilai mikrohardness pada sampel yang telah diberi perlakuan didapatkan bahwa terjadi penurunan kekerasan pada ferit dibanding baja tanpa perlakuan. Penurunan kekerasan setelah diberikan tempering ini sebesar 10-20 VHN.

Pada HAZ kekerasan tertinggi terdapat pada asikular ferit yaitu sebesar 187,3 VHN. Perbedaan kekerasan asikular ferit dibandingkan ferit pada HAZ mencapai 30 VHN. Setelah pemberian tempering terdapat penurunan kekerasan baik pada asikular ferit ataupun ferit pada HAZ.

Selanjutnya pada weld metal kekerasan paling tinggi terdapat pada asikular ferit tanpa perlakuan sebesar 201,7 VHN. Unsur paduan Ni, Cr, Mn da Mo yang lebih banyak dimiliki oleh elektroda lasan sehingga menyebabkan kekerasan pada weld metal lebih tinggi meskipun memiliki jumlah asikular ferit yang lebih sedikit. Setelah pemberian tempering terdapat penurunan kekerasan pada asikular ferit dan ferit di weld metal.

Selanjutnya ialah pengujian makrohardnes yang bertujuan untuk membandingkan antar kekerasan satu zona lasan dengan zona yang lain serta untuk membandingkan kekerasan antara satu parameter pengelasan dengan parameter yang lain. Pada pengujian makrohardness dapat dilihat pada tabel 4.4. Jika



diamati terdapat kenaikan kekerasan pada weld metal maupun HAZ pada seiring kenaikannya arus yang digunakan pada pengelasan yang dapat diamati pada gambar 4.33 dan 4.34. Dapat diamati jika kenaikan kekerasan dimulai dari base metal, lalu HAZ dan zona yang paling keras terdapat pada weld metal.

HAZ lebih keras dibandingkan base metal dikarenakan terdapat struktur asikular ferit pada HAZ. kekerasan paling tinggi terdapat pada pengelasan dengan menggunakan arus 170 A tanpa perlakuan yaitu sebesar 170VHN. Pada tabel 4.4 dapat diamati bahwa seiring naiknya arus yang digunakan maka kekerasan akan semakin naik juga. Hal ini disebabkan oleh semakin tingginya arus pengelasan yang digunakan membuat jumlah asikular ferit pada HAZ semakin banyak. Selain itu arus yang tinggi membuat luas strukturmikro yang kecil, dimana strukturmikro yang luasannya lebih kecil memiliki kekerasan yang paling tinggi. Selanjutnya untuk kekerasan HAZ pada parameter dengan perlakuan, dapat diamati bahwa terjadi penurunan kekerasan.

Selanjutnya makrohardness pada weldmetal didapatkan kekerasan paling tinggi pada pengelasan dengan arus 170A tanpa perlakuan dengan nilai kekerasan sebesar 185 VHN yang dapat dilihat pada tabel 4.4. Pada weld metal kenaikan arus pengelasan juga menyebabkan kenaikan kekerasannya. Hal ini terjadi dikarenakan jumlah asikular ferit yang semakin banyak seiring kenaikan arus serta luasan strukturmikro yang semakin kecil yang dimana semakin kecil luasan strukturmikro akan menyebabkan kekerasan yang semakin tinggi. Pemberian tempering akan menyebabkan turunnya kekerasan pada weld metal. Hal ini diduga berkurangnya tegangan sisa yang terdapat pada weld metal, lalu tumbuhnya fine ferit atau ferit halus yang memiliki kekerasan yang rendah. Penurunan kekerasan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.35 hingga 4.39 dimana penurunan kekerasan mencapai 10-20 VHN setelah diberi tempering.

Pada subbab selanjutnya analisa data yang dilakukan ialah pada pengujian impact. Pada hasil pengujian didapatkan



terdapat kenaikan nilai tegangan impact berbanding lurus dengan kenaikan arus pada pengelasan benda kerja yang dapat dilihat pada tabel 4.5. Pada data tersebut untuk parameter tanpa perlakuan didapatkan tegangan impact paling tinggi pada arus 170 A tanpa perlakuan yaitu $1,76 \text{ joule/mm}^2$. Tempering menghasilkan pengingkatan tegangan impact dari benda kerja yang dapat dilihat pada grafik perbandingan impact strength pada gambar 4.40. Tegangan impact paling tinggi yaitu pada arus pengelasan 170A dengan perlakuan yaitu sebesar 1.93 joule/mm^2 . Kenaikan tegangan impact ini dikarenakan unsur paduan pada weld metal yang dimana pada saat dilakukan tempering dapat membentuk fine ferit yang terdapat pada batas butir. Fine ferit bersifat lunak mengelilingi asikular pada weld metal yang memiliki kekerasan tinggi yang dikarenakan unsur paduan dapat menghasilkan ketangguhan yang tinggi.

Selanjutnya dilakukan pengujian bending pada sampel pengelasan. Pada pengujian bending ini dilakukan 3 posisi bending untuk masing-masing parameter pengelasannya yaitu face bending, root bending dan side bending. Pengujian bending ini dilakukan untuk mengetahui apakah sambungan pada las-lasan layak dan sesuai kriteria dengan melihat kemampuannya ketika diberi beban tekuk. Secara keseluruhan arus yang digunakan sudah memasuki kriteria bending strength. Pada hasil pengujian bending didapat 2 spesimen yang memiliki open defect melebihi kriteria dari pengujian bending yaitu pada sampel 110A tanpa perlakuan dan 140A dengan perlakuan. Hal ini disebabkan oleh porositas yang terbentuk didalam weld metal yang melebihi kriteria sehingga terbentuk open defect. Hal ini menunjukkan arus yang digunakan pada pengelasan ini masuk kriteria prosedur teknis. Bending strength untuk setiap parameter pengelasan juga baik terlihat dari tidak adanya crack pada spesimen bending. Sehingga dapat disimpulkan jika keseluruhan sampel sudah memenuhi kriteria kekuatan bending.

Pada analisa data terakhir yaitu dilakukan uji tarik pada benda kerja. Spesimen uji tarik menggunakan metode transfersal



yaitu weld metal berada ditengah dari gauge length. Pengujian tarik ini dilakukan untuk mengetahui letak patahan pada saat benda kerja diuji tarik. Baja lasan yang baik ialah spesimen yang pada saat diuji tarik putus di daerah base metal, sehingga membuktikan sambungan las tersebut baik dan lebih kuat. Hal ini menunjukkan parameter pengelasan pada pengujian ini masuk kriteria untuk melakukan pengelasan baja karbon rendah. Pada data tabel 4.7 dapat diamati nilai UTS dan yield strength pada spesimen cenderung linear dikarenakan kekuatan tarik yang didapat dari pengujian tersebut ialah base metal dari masing-masing spesimen. Sedangkan untuk spesimen yang telah diberi tempering didapat kekuatan tarik yang dimiliki oleh benda kerja cenderung turun. Selain itu dapat dilihat pada tabel 4.7 maksimal regangan pada sampel cenderung naik setelah diberi tempering, kenaikan dari maksimal strain mencapai 4%. Dengan membandingkan maksimal strain pada grafik tegangan reganagn sebenarnya sampel tanpa perlakuan dengan perlakuan pada gambar 4.43 dan 4.44 dapat dilihat bahwa pemberian tempering dapat meningkatkan maksimal strain pada benda kerja. Pada hasil pengujian didapat bahwa arus pengelasan 125A mengalami fracture pada bagian weld metal serta kekuatan tarik spesimen tersebut dibawah rata-rata dari base metal. Setelah dilakukan analisa, ditemukan inklusi pada spesimen dengan arus 125A tersebut. Inklusi ini menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada weld metal sehingga kekuatan tarik spesimen tersebut tidak maksimal.

Dari pembahasan ini dapat diamati bahwa hasil pengujian diatas saling berkolerasi. Pada pengujian ini didapatkan hasil dari 3 zona metal yaitu pada base metal, HAZ dan weld metal. Struktur mikro pada base metal ialah ferit dan perlit dimana ferit lebih dominan. Penambahan tempering pada base metal menyebabkan terbentuknya strukturmikro ferit halus dimana hal tersebut dapat menurunkan kekerasan pada benda kerja, selain itu pemberian tempering dapat meningkatkan maksimal strain pada uji tarik. Selanjutnya pada HAZ didapat



kenaikan arus pengelasan dapat mempercepat cooling rate. Penurunan temperatur pendinginan yang cepat dapat membuat terbentuknya struktur mikro yang halus dan memacu terbentuknya asikular ferit yang lebih banyak. Pada pembahasan ini dapat diamati semakin banyak asikular ferit pada benda kerja maka membuat benda kerja semakin keras, banyaknya asikular ferit yang memiliki kekerasan yang tinggi tetap membuat benda kerja masuk dalam kriteria kekuatan bending. Pada weld metal memiliki unsur paduan yang menghambat terbentuknya ferit, sehingga jumlah asikular ferit tidak sedominan pada HAZ namun tetap memiliki kekerasan yang tinggi. Kenaikan arus pengelasan dapat meningkatkan kekerasan dan ketangguhan pada weld metal. Penambahan tempering pada weld metal dapat menurunkan kekerasan namun juga dapat meningkatkan ketangguhan pada benda kerja. Untuk kekuatan bending pada weld metal masuk dalam kriteria baik sebelum ataupun sesudah pemberian tempering.

LAMPIRAN

I. Perhitungan cooling rate

$$R = \frac{2\pi \cdot k(T_c - T_o)^2}{H_{nett}} \text{ (sumber: ASM Metal Handbook)}$$

Ket:

R = cooling rate

k = Thermal conductivity of the metal

T_c = Temperature at which the cooling rate is calculated

T_o = Initial plate temperature

H_{nett} = net heat input per unit length

Maka didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$R \text{ sample A} = \frac{2\pi \cdot 0,028(750 - 25)^2}{3611,940 \times 2,39} = 10,706 \text{ } ^\circ\text{C/s}$$

No	Arus	Heat Input (j/mm)	Hnett (cal/cm)	Cooling rate (°C/s)
1	110 A	3611,940	8632,532	10,706
2	125 A	4104,477	9809,700	9,421
3	140 A	4597,014	10986,863	8,412
4	155 A	5089,552	12164,029	7,598
5	170 A	5582,089	13341,192	6,927

II. Perhitungan lebar HAZ

$$\frac{1}{T_p - T_o} = \frac{4.13 \rho C T Y}{H_{net}} + \frac{1}{T_m - T_o}$$

Ket :

Tp = peak temperatur

To = Initial plate temperature

Tm = temperature melting

Hnett = net heat input per unit length

C = Spesific heat

P = densitas

Maka didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{1}{750-25} = \frac{4,13 \times 0,0785 \times 0,47 \times 10 \times Y}{3611,940} + \frac{1}{1539-25}$$

$$Y_{110A} = 1,6998 \text{ mm}$$

No	Arus	HAZ (mm)
1	110 A	1,6998
2	125 A	1,9315
3	140 A	2,1634
4	155 A	2,3952
5	170 A	2,6269

III. Perhitungan Ukuran Butir (Hilliard Single-Circle Procedure) HAZ

Spesimen parameter pengelasan 110A HAZ tanpa PWHT



Gambar 1. Struktur Mikro A516 GR. 55 HAZ parameter pengelasan 110A Perbesaran 500x

$$N = 38$$

$$D = 79.58 \text{ mm}$$

$$M = 500$$

$$\pi = 3.14$$

Keterangan:

N = Jumlah perpotongan garis lingkaran dengan batas butir

D = Diameter lingkaran

M = Perbesaran gambar

- Menghitung Keliling Lingkaran Sebenarnya

$$Kl = \frac{\pi \times D}{M}$$

$$K_{II} = \frac{3.14 \times 79.58}{500}$$

$$K_{II} = 0.4998 \text{ mm}$$

- Menghitung P_L atau N

$$P_L = \frac{N}{K_{II}}$$

$$P_L = \frac{39}{0.4998}$$

$$P_L = 76.03$$

Menentukan Nilai L_3

$$L_3 = \frac{1}{P_L}$$

$$L_3 = \frac{1}{76.03}$$

$$L_3 = 0.0131$$

- Menentukan Nilai Grain Size (G)

$$G = \{-6.6457 (\log_{10} L_3) - 3.298\}$$

$$G = \{-6.6457 (\log_{10} 0.0131) - 3.298\}$$

$$G = \{-6.6457 (-1.8909) - 3.298\}$$

$$G = \{12.5004 - 3.298\}$$

$$G = 9.2024$$

Dari hasil perhitungan diketahui nomer grain size HAZ baja lasan parameter 110A tanpa perlakuan adalah 9.2024. Berdasarkan ASTM E112, dapat diperoleh luas grain size sebagai berikut:

Interpolasi:

$$\frac{9.2024 - 9.0}{9.5 - 9.0} = \frac{x - 252}{178 - 252}$$

$$\frac{0.2024}{0.5} = \frac{x - 252}{-74}$$

$$-14,9833 = 0.5x - 126$$

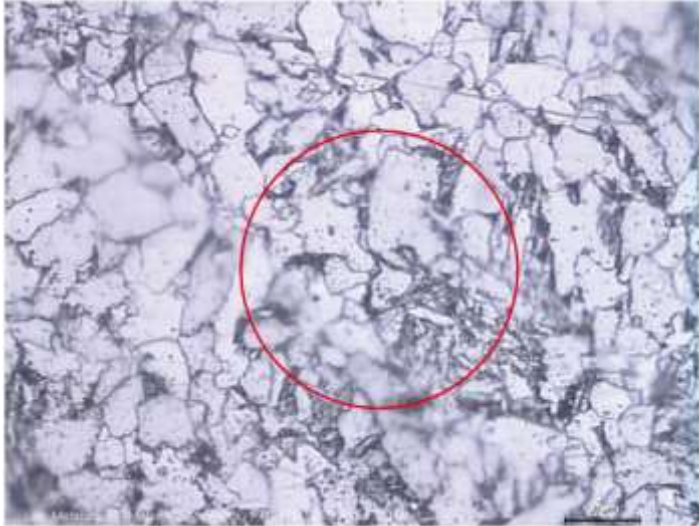
$$x = 252,0054 \mu\text{m}^2$$

Dari hasil perhitungan grain size dan interpolasi, diketahui bahwa luas grain size rata-rata untuk baja HAZ parameter pengelasan 110A adalah $252,0054 \mu\text{m}^2$.

No	Arus	Grain size	Luas grain (μm^2)
1	110 A tanpa perlakuan	9,2024	252,0054
2	125 A tanpa perlakuan	9,4217	189,5754
3	140 A tanpa perlakuan	9,5592	171,8397
4	155 A tanpa perlakuan	9,6904	158,1920
5	170 A tanpa perlakuan	9,8767	137,7366
6	110 A perlakuan	9,2809	210,4268
7	125 A perlakuan	9,4913	179,2876
8	140 A perlakuan	9,6152	166,0192
9	155 A perlakuan	9,7539	151,5944
10	170 A perlakuan	9,9362	132,6352

IV. Perhitungan Ukuran Butir (Hilliard Single-Circle Procedure) Weld

Spesimen parameter pengelasan 110A weld tanpa PWHT



Gambar 12. Struktur Mikro A516 GR. 55 weld parameter pengelasan 110A Perbesaran 500x

$$N = 39$$

$$D = 79.58 \text{ mm}$$

$$M = 500$$

$$\pi = 3.14$$

Keterangan:

N = Jumlah perpotongan garis lingkaran dengan batas butir

D = Diameter lingkaran

M = Perbesaran gambar

- Menghitung Keliling Lingkaran Sebenarnya

$$K_{II} = \frac{\pi \times D}{M}$$

$$K_{II} = \frac{3.14 \times 79.58}{500}$$

$$K_{II} = 0.4998 \text{ mm}$$

- Menghitung P_L atau N

$$P_L = \frac{N}{K_{II}}$$

$$P_L = \frac{39}{0.4998}$$

$$P_L = 78,03$$

Menentukan Nilai L_3

$$L_3 = \frac{1}{P_L}$$

$$L_3 = \frac{1}{78,03}$$

$$L_3 = 0.0128$$

- Menentukan Nilai Grain Size (G)

$$G = \{-6.6457 (\log_{10} L_3) - 3.298\}$$

$$G = \{-6.6457 (\log_{10} 0.0128) - 3.298\}$$

$$G = \{-6.6457 (-1.8927) - 3.298\}$$

$$G = \{12.5789 - 3.298\}$$

$$G = 9.2809$$

Dari hasil perhitungan diketahui nomer grain size WELD baja lasan parameter 110A tanpa perlakuan adalah 9.2809. Berdasarkan ASTM E112, dapat diperoleh luas grain size sebagai berikut:

Interpolasi:

$$\frac{9.2809 - 9.0}{9.5 - 9.0} = \frac{x - 252}{178 - 252}$$

$$\frac{0.2809}{0.5} = \frac{x - 252}{-74}$$

$$-20,7866 = 0.5x - 126$$

$$x = 210,4268 \mu\text{m}^2$$

Dari hasil perhitungan grain size dan interpolasi, diketahui bahwa luas grain size rata-rata untuk baja WELD parameter pengelasan 110A adalah $210,4268 \mu\text{m}^2$.

No	Arus	Grain size	Luas grain (μm^2)
1	110 A tanpa perlakuan	9,2809	210,4268
2	125 A tanpa perlakuan	9,4913	179,2876
3	140 A tanpa perlakuan	9,6152	166,0192
4	155 A tanpa perlakuan	9,7539	151,5944
5	170 A tanpa perlakuan	9,9362	132,6352
6	110 A perlakuan	9,4217	189,5754
7	125 A perlakuan	9,5592	171,8397
8	140 A perlakuan	9,6904	158,1920
9	155 A perlakuan	9,8159	145,3910
10	170 A perlakuan	9,9945	126,5663

V. Data uji Impat



ITS
 Institute
 of Transportation
 Systems

LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599-4931

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE _____

23/05/2018

ORDER FROM

Maximum number of	Default
-------------------	---------

TEST STANDARD

ASTM E 23

MATERIAL SPECS

Ar 3.6 Länge des Pfeils

PROJECT

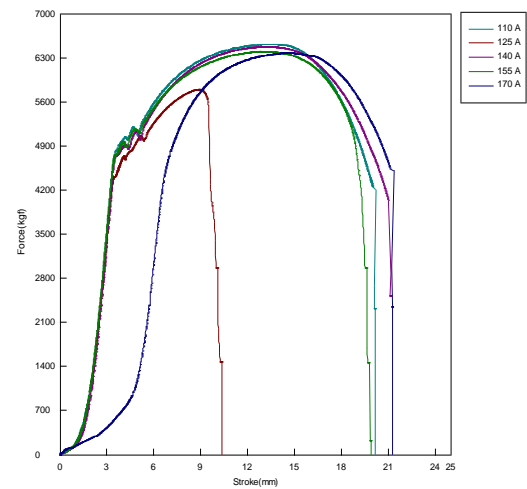
Tupac Shakur

[illegible]

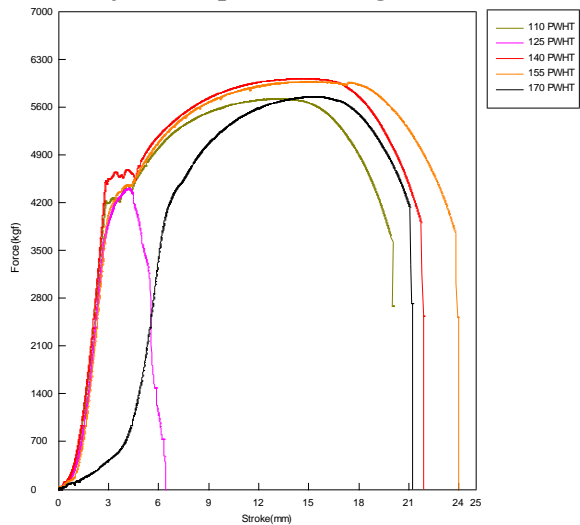
VI. Data uji tarik

Plate	1	10		YP_Force	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force	Max_Stress	Max_Strain	Elongation
Name:	Thickness	Width	Gauge Length	0.1 %/FS	0.1 %/FS	0.1 %/FS				
Size Unit:	mm	mm	mm	kgf	kgf/mm2	%	kgf	kgf/mm2	%	%
110 A	10	12.5	60	4821.03	38.5682	5.86333	6525.87	52.2069	22.45	8.29333
125 A	10	12.5	60	4408.36	35.2669	5.67667	5804.73	46.4379	14.7917	4.55752
140 A	10	12.5	60	4767.17	38.1374	5.94	6485.4	51.8832	21.68	7.87
155 A	10	12.5	60	4775.78	38.2062	5.87667	6408.92	51.2713	21.3567	7.74002
170 A	10	12.5	60	4749.65	37.9972	11.5967	6388.52	51.1082	24.38	6.39165
110										
PWHT	10	12.5	60	4229.91	33.8393	4.68	5731.44	45.8515	22.2433	8.78165
125										
PWHT	10	12.5	60	--	--	--	4420.47	35.3638	7.01667	--
140										
PWHT	10	12.5	60	4538.85	36.3108	4.73667	6031.3	48.2504	25.21	10.2367
155										
PWHT	10	12.5	60	4234.37	33.875	5.50667	5981.27	47.8502	24.7733	9.63332
170										
PWHT	10	12.5	60	4168.25	33.346	10.9867	5759.17	46.0733	25.32	7.16665

A. Grafik uji tarik spesimen tanpa PWHT



B. Grafik uji tarik spesimen dengan PWHT



VII. Hasil spektrometri spesimen

a. Base metal



**KEMENTERIAN
PERINDUSTRIAN
REPUBLIK INDONESIA**

**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI SURABAYA
LABORATORIUM PENGUJIAN DAN KALIBRASI
BARISTAND INDUSTRI SURABAYA**

Jl. Jagir Wirokromo No. 380 Surabaya (60244), Telp: (031) 8410054, Fax: (031) 8410480
<http://baristandisurabaya.kemendperin.go.id/>

Nomor Analisa : P. 1238
 Jenis Sampel : Baga Karbon Rendah
 Kode / Merk : ASTM A - 36
 Ukuran : 50 mmx 34 mm x 9 mm

No	Parameter Uji	Kode	Satuan	Hasil Uji	Metoda uji
Komposisi Kimia Logam Dasar					
1	C		%	0.14762	JS G 1238 : 2003 Cara uji komposisi kimia
2	Si		%	0.29857	
3	Mn		%	0.64483	
4	P		%	0.00041	
5	S		%	0.00548	
6	Cu		%	0.02339	
7	Ni		%	0.02174	
8	Cr		%	0.04100	
9	Mo		%	0.02463	
10	Al		%	0.03124	
11	Fe		%	98.594	

Catatan : - Sampel uji sesuai permintaan.
 - Sampel uji dengan alat Optical Emission Spectrometer



Surabaya, 08 April 2018
Laboratorium Fisika
 Deimhanjo
 NIP. 195806101981031008

ORIGINAL
ASLI

b. Weld metal



**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI SURABAYA
LABORATORIUM PENELITIAN DAN KALIBRASI
BARISTAND INDUSTRI SURABAYA**

Jl. Jagir Wonakromo No. 360 Surabaya 60244, Telp. (031) 8410054, Fax. (031) 8410480
<http://baristandurabaya.kemendin.go.id/>

Nomor Analisa : P. 1952
Jenis Sampel : Baja Karbon Rendah
Kode / Mark : AWS 7018
Ukuran : 50 mm x 34 mm x 9 mm

No	Parameter Uji	Kode	Satuan	Hasil Uji	Metode uji
Komposisi Kimia Legam Dasar					
1	C		%	0.1567	JIS G 1222 : 2002 Cara uji komposisi kimia
2	Si		%	0.7532	
3	Mn		%	1.6121	
4	P		%	0.0358	
5	S		%	0.0352	
6	Cu		%	0.0024	
7	Ni		%	0.0267	
8	Cr		%	0.2054	
9	Mo		%	0.3145	
10	Al		%	0.0248	
11	Fe		%	98.3267	

Catatan : - Sampel diuji sesuai permintaan.
- Sampel diuji dengan alat Optical Emission Spectrometer



ORIGINAL
ASLI

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian *Pengaruh Heat Input Dan Penambahan Tempering Pada Pengelasan Baja Karbon Rendah Dengan Metode Smaw Terhadap Terbentuknya Asikular Ferit Serta Dampaknya Terhadap Sifat Mekanik* dapat disimpulkan bahwa :

1. Heat Input yang semakin tinggi menyebabkan jumlah asikular ferit pada baja lasan semakin banyak, dimana asikular ferit ini dominan terbentuk pada HAZ.
2. Dengan bertambahnya asikular ferit pada baja lasan memperkeras benda kerja serta ketangguhan pada baja lasan semakin tinggi. Kekerasan yang dimiliki oleh weld metal paling tinggi dikarenakan weld metal memiliki unsur paduan yang lebih tinggi jika dibandingkan daerah logam yang lain.
3. Pemberian tempering pada benda kerja menyebabkan asikular ferit bertransformasi menjadi fine ferit yang muncul dan tumbuh pada batas butir disekitar asikular ferit. Selain itu pemberian tempering ini menurunkan kekerasan baja lasan.
4. Tempering pada baja lasan menaikkan ketangguhan benda kerja, hal ini dikarenakan benda kerja memiliki asikular ferit yang dikelilingi oleh fine ferit yang ductile pada batas butirnya, perpaduan kekerasan dan ductility pada asikular ferit dan fine ferit membentuk baja yang tangguh.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk pengujian selanjtnya ialah :

1. Mengindetifikasi lebih lanjut fasa lain yang terbentuk pada benda kerja.
2. Mengukur stress relief yang terjadi pada parameter tempering.



-
3. Melakukan pengujian uji tarik secara longitudinal pada HAZ dan weld metal untuk mengetahui kekuatan tarik dan keuletan di daerah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1993. **ASM Metal Handbook Vol 6**. Funderbunk.
- _____. 1976. **American Welding Society : A5.5. Low Alloy Steel Covered Arc Welding Electrode**. AWS,
- _____. 2008. **ASTM E3 – 01 : Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens**. West Conshohocken: ASTM International
- _____. 2010. **ASTM E8 : Standard Guide for preparation of Tensile test**. West Conshohocken: ASTM International
- _____. 2008. **ASTM E92 : Standard Guide for macro vickers hardness**. West Conshohocken: ASTM International
- _____. 2008. **ASTM E384-16 : Standard Guide for micro vickers hardness**. West Conshohocken: ASTM International
- _____. 2008. **ASTM E23 : Standard Guide for preparation of Impact test**. West Conshohocken: ASTM International
- _____. 2008. **ASTM E190 : Standard Guide for preparation of Bending test for welding**. West Conshohocken: ASTM International
- Agarwall, R.L., dan Manghnani,T. 1985. **Welding engineering**, Khan Publisher, New Delhi.
- Babu, S. 1992. **Stress and the acicular ferrite transformation**. Materials Science and Engineering A156:1-9. Cambridge. UK.
- Hardiyanto, L.A . 2013. **All weld properties API X65 Pipe Steel**. Crainfield University.
- Ismail, A. Surya. 2015. **Analisa pengaruh variasi heat input dan temperatur pwht terhadap struktur mikro dan sifat mekanik pada baja paduan rendah dengan proses pengelasan SMAW**. ITS:Surabaya. Tugas Akhir

- Edwin, J. 2012. **Modeling and analysis of weld parameters on microhardness in SA 516 Gr. 70 Steel**. International conference on modelling optimization and computing, Journal procedia engineering vol 38:4021-4029. Kumaracoil. India.
- Khan, Md.Ibrahim. 2007. **Welding Science and Technology**. New age international (P) limited, publisher.
- Ninggolan, Alamsa., 2010. **Analisa pengaruh variasi arus terhadap sifat mekanik hasil pengelasan SMAW pada baja AISI 4140**. Surabaya: ITS. Tugas Akhir.
- Nitiswati, Sri 1998. **Sifat mulur material komponen reaktor daya**. PPTKR-Batan: 176-192. Serpong.
- Olabi, A.G dkk. 1996. **Stress relief procedures for low carbon steel (1020) welded components**. Journal materials process technology vol 118, no 2: 224-228
- Popovic, Olivera. 2010. **The Effect of Heat input on the weld metl toughness of surface welded joint**. TMT.
- Prasdiati, Senny. 2006. **Analisa Pengaruh Perlakuan Panas pada Hasil Pengelasan Butt-Joint Baja Karbon Menengah dengan Metode Flux Cored Arc Welding**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas Akhir.
- Rangga, Danu., 2010. **Analisa pengaruh variasi heat input pada proses pengelasan GTAW terhadap struktur mikro sifat mekanik pada sambungan FIN to FIN waterwalss panel boiler dengan material low alloy steel T24**. Surabaya:ITS. Tugas Akhir.
- Ricks,R.A. 1982. **The nature of acicular ferrite in HSLA steel weld metals**. Journal of materials science 17 :732-749. Cambridge. UK
- Risnawandi, Arif., 2010. **Analisa hasil pengelsn SMAW Butt Joint baja AISI 1045 variasi tempertur PWHT**. Surabaya: ITS. Tugas Akhir
- Sharma, Som Dutt. 2013. **A review on effect of preheating and/or post weld heat treatment (pwht) on hardened**

- steel**. International Journal of Technical Research and Applications e-ISSN: 2320-8163: 05-07. Lucknow. India
- Sindo, Kou. 2002. **Welding Metallurgy: Second Edition**. New Jersey
- Sugiarto.2011. **Dampak Perubahan Temperatur Lingkungan Terhadap Temperatur Puncak Las Dan Laju Pendinginan Sambungan Dissimilar Metal Menggunakan Las Mlg**. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.2, No. 2 Tahun 2011 : 98-105. Malang
- Suharno, Ilman, M.N, Jamari, 2004. **Pengaruh Masukan Panas pada pengelasan busur terendam terhadap ketangguhan dan suhu transisi BAJA SM 490, Prosiding**, Seminar Nasional Teknik Mesin, hal 36 - 42. Yogyakarta
- Suharno, 2008. **Struktur mikro las baja C-Mn hasil pengelasan busur terendam dengan variasi masukan panas**. Jurnal terapan dan keilmuan teknik mesin vol 10, no1: 40-45. Surakarta
- Susri, 2014. **Pengaruh masukan panas terhadap struktur mikro, kekerasan dan ketangguhan pada pengelasan shield metal arc welding (smaw) dari pipa baja diameter 2,5 inchi**. Jurnal Dinamis Vol.II, No.14:16-22. Medan.
- Xiao, Fu-Ren.2006. **Challenge of mechanical proprties of an acicular ferrite pipeline steel**. Materials science and Engineering A431: 41-52. Shenyang. China.
- Wan, X.2010. **Effect of acicular ferrite formation on grain refinement in the coarse-grained region of heat-affected zone**. Materials characterization 61: 726-731. Wuhan. China.
- Wirgosumamoto, Prof.DR.Ir. Harsono. Okumura, Prof.DR.Toshi. 1996. **Teknologi Pengelasan Logam**. PT. Pradaya Parami

Young, Min Kim. 2008. **Transformation behavior and microstructural characteristics of acicular ferrite in linepipe steels**. Materials science and engineering A478: 361-370. Pohang. Korea

RIWAYAT PENULIS



Penulis merupakan anak terakhir dari dua bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 31 Juli 1994 di Curup dengan nama Muhammad Akbar. Penulis beberapa kali berpindah kota pada saat menerima pendidikan dasar yaitu di Palembang dan Bengkulu, hingga pada tahun 2012 diterima sebagai salah satu mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut

Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur mandiri dan terdaftar dengan NRP 2712100135.

Selama menjadi mahasiswa, selain aktif di akademik penulis juga aktif di berbagai organisasi baik skala kampus, regional maupun nasional. Beberapa diantaranya ialah aktif menjadi staff Unit Kerja Khusus Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT), aktif di kementrian Kaderisasi Kebangsan Badan Eksekutif Mahasiswa ITS, aktif dalam Surabaya Youth Carnival serta menjadi Sekretaris Jenderal di Perhimpunan Mahasiswa Metalurgi Material Se Indonesia (PM3I).

Ketertarikan penulis dalam bidang pengelasan menjadikan penulis memilih laboratorium metalurgi dan bidang studi Teknologi Pengelasan sebagai tempat dan topik dalam menyelesaikan Tugas Akhir. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail muhammadaakbar@outlook.com